

# TUGAS AKHIR

(KP 1701)

## STUDI TAHANAN KAPAL KATAMARAN DENGAN KONSEP CFD



Rspe  
623.818  
Pri  
S-1  
2001

OLEH :

**EKO PRIYANTO**

NRP. 4195 100 015

JURUSAN TEKNIK PERKAPALAN  
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
S U R A B A Y A

**2001**

PERKATAAN	
Tgl. T.	9/2/01
Tgl. Pen.	H
No. Ag.	21.2977



*Sesungguhnya orang-orang yang beriman itu adalah mereka yang apabila disebut nama Allah gemetarlah hati mereka, dan apabila dibacakan kepada mereka ayat-ayat-Nya, bertambah iman mereka (karenanya) dan kepada Tuhanlah mereka bertawakkal, yaitu orang-orang yang mendirikan sholat dan menafkahkan sebagian dari rizki yang Kami berikan kepada mereka. Itulah orang-orang yang beriman dengan sebenar-benarnya. Mereka akan memperoleh beberapa derajat ketinggian di sisi Tuhannya dan ampunan serta rizki (nikmat) yang mulia.*

(QS. AL ANFAAL : 2 – 4)

**LEMBAR PENGESAHAN**



# LEMBAR PENGESAHAN

## STUDI TAHANAN KAPAL KATAMARAN DENGAN KONSEP CFD

### TUGAS AKHIR

Diajukan Guna Memenuhi Salah Satu  
Syarat untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik

Pada

Jurusan Teknik Perkapalan

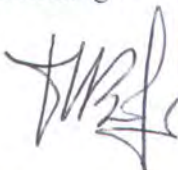
Fakultas Teknologi Kelautan

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya

Mengetahui/Menyetujui

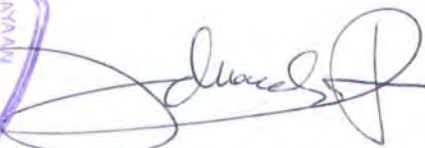
Dosen Pembimbing I



Ir. I. K. A. PRIA UTAMA, MSc, PhD

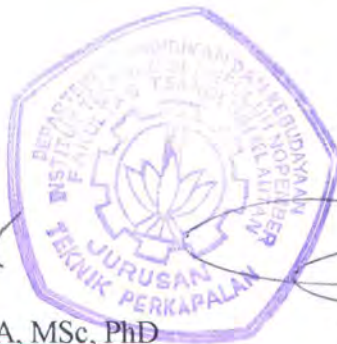
NIP. 132 007 645

Dosen Pembimbing II



Ir. P. ADRIANTO, MSc

NIP. 130 325 763



*“Barangsiapa yang menghendaki keuntungan di akhirat akan Kami tambah keuntungan itu baginya dan barangsiapa yang menghendaki keuntungan di dunia kami berikan kepadanya sebagian dari keuntungan dunia dan tidak ada baginya suatu bagianpun di akhirat “*

( QS. Asy Syuura : 20)

**ABSTRAK**



# **INTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER (ITS)**

## **ABSTRAK**

FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN  
JURUSAN TEKNIK PERKAPALAN

### **Sarjana Teknik (S1)**

#### **STUDI TAHANAN KAPAL KATAMARAN DENGAN KONSEP CFD**

Oleh : Eko Priyanto

Pembimbing : 1. Ir. I. K. A. P. Utama, MSc, PhD.  
2. Ir. Petrus Adrianto, MASc.

Dalam perancangan kapal, salah satu hal yang perlu diperhatikan adalah persoalan tahanan. Semakin kecil tahanan maka semakin tinggi nilai ekonomis suatu kapal, demikian sebaliknya. Karena itu, dalam merancang suatu kapal perlu didapatkan bentuk yang optimum dari kapal dilihat dari segi tahanannya.

Pengoperasian kapal katamaran relatif belum banyak di Indonesia meskipun memberikan sejumlah keuntungan antara lain : luasan geladak yang lebih besar dan stabilitas melintang yang lebih baik dibandingkan tipe monohull. Selanjutnya, kapal katamaran juga menyajikan fenomena yang menarik yaitu apa yang disebut interferensi yang timbul akibat adanya 2 badan kapal yang disusun bersekatan.

Penyelidikan tentang interferensi ini dapat dikerjakan dengan 2 cara yaitu (1) eksperimental fisik di towing tank dan wind tunnel, dan (2) eksperimental numerik menggunakan konsep computational fluid dynamics (CFD). Studi tugas akhir ini selanjutnya difokuskan pada pendekatan kedua dengan penekanan pada kejadian interferensi akibat tahanan kekentalan.

Hasil yang didapat dibandingkan dengan data yang tersedia dan memperlihatkan kecenderungan yang sama walaupun tidak sepenuhnya memuaskan.

*“Barang siapa yang menghendaki kehidupan dunia dan perhiasannya, niscaya Kami berikan kepada mereka balasan pekerjaan mereka di dunia dengan sempurna dan mereka di dunia itu tidak akan dirugikan. Itulah orang-orang yang tidak memperoleh di akhirat kecuali neraka dan lenyaplah di akhirat itu apa yang telah mereka usahakan di dunia dan sia-sialah apa yang telah mereka kerjakan. “*

(QS HUUD : 15-16)

**ABSTRACT**



**SEPULUH NOPEMBER INSTITUTE OF TECHNOLOGY (ITS)**

**ABSTRACT**

FACULTY OF MARINE TECHNOLOGY

DEPARTMENT OF NAVAL ARCHITECTURE AND SHIPBUILDING

**Degree in Engineering (S1)**

A STUDY INTO CATAMARAN SHIP RESISTANCE USING CFD METHOD

By : Eko Priyanto

Supervisors : 1. Ir. I. K. A. P, MSc, PhD.

2. Ir. Petrus Adrianto, MAsC.

In ship design, one important aspect to be considered is ship resistance. The smaller the resistance, the higher its economic value and vice versa. Therefore, in designing a ship, one should look at its resistance in order to give an optimal ship form.

At present, the use of catamarans are less likely in Indonesia although it give several benefits i.e : wider deck area and better transverse stability compared to monohull. Furthermore, catamran also show an interesting phenomenon called interference between the hulls.

Investigation into the interference can be done in two ways :

1. Physical experiment in towing tank and wind tunnel.
2. Numerical experiment using computational fluid dynamics (CFD) approach.

The current study was then focused on the second approach with emphasized on the interference cause by viscous effect.

The result were then compared with other available data showing similar trend, although not completely satisfactory.

*“ Kami adalah umat yang terbaik yang dilahirkan untuk manusia,  
menyuruh kepada yang ma’ruf, dan mencegah dari yang mungkar dan  
beriman kepada Allah “*

(QS. Ali Imran : 110)

## KATA PENGANTAR



## KATA PENGANTAR

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Assalamualaikum Wr. Wb.

Segala puji dan syukur ke hadirat Allah SWT Rob pencipta alam semesta beserta isinya, yang menguasai seluruh makhluk serta pemberi rezki bagi mereka dan atas rahmat-Nya penelitian yang berjudul “ STUDI TAHANAN KAPAL KATAMARAN DENGAN KONSEP CFD ” dapat diselesaikan. Sholawat serta salam semoga tetap tercurah kepada uswah kita Nabi Muhammad SAW, kepada keluarganya, kepada sahabatnya dan orang-orang yang istiqomah mengikutinya dengan baik. Penelitian ini merupakan tugas akhir sebagai persyaratan menyelesaikan studi strata satu dalam memperoleh gelar sarjana teknik perkapalan.

Keberhasilan penyelesaian tugas akhir ini tidak terlepas dari bantuan berbagai pihak baik materi maupun spiritual. Penyusun mengucapkan terimakasih kepada :

1. Bapak dan Ibu atas segala perhatian, kasih sayang, nasehat, dan doanya yang seluruhnya tidak akan mungkin ananda balas. Semoga Allah SWT selalu melimpahkan rahmat dan taufik-Nya sampai hari akhir.
2. Ir. I.K.A. Pria Utama, MSc, PhD atas segala bimbingannya dan asuhannya selama penyelesaian tugas akhir ini.
3. Ir. P. Adrianto, MAsC, yang telah membimbing penulis dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
4. Ir. P. Andrianto, atas bimbingannya selama ini.
5. Ir. Djauhar Manfaat, MSc, PhD selaku ketua jurusan Teknik Perkapalan.
6. Dr. Wisnu Wardhana, selaku ketua program pasca sarjana Teknologi Kelautan ITS atas ijin penggunaan fasilitas laboratorium komputasi.
7. Semua staf pengajar Teknik Perkapalan ITS atas berbagai ilmu yang telah diajarkan mulai dari semester 1 sampai selesai.

8. Bapak–bapak di pasca sarjana Teknologi Kelautan ITS, Pak Hasan, Pak Semin, Pak Dony, Pak Yoyok, Pak Irfan, Pak Haris terima kasih atas bantuan dan kerjasamanya.
9. Mas Ali, Pak Arifin, terima kasih atas bimbingan dan doanya.
10. Adik–adikku , Owhik, Eri, Uul, terima kasih atas kebersamaan kita selama ini. Semoga kalian menjadi anak–anak yang sholeh.
11. Teman–teman Nasyid, Ifand, Indra, Agung, Fajar, Winarto, Purnama, terima kasih atas persaudaraan kita selama ini.
12. Teman–teman perkapalan '95, Uju, Hary, Karjo, Nono, Angga, Yuli, Dedy, Monot, Abu, Pepen, Salim, anak–anak Bukit Mas, dan yang belum penulis sebut namanya.
13. Three Muskeeter yang telah memberi teladan kegigihannya.
14. Teman–teman SKI, Abu Dzar, Mahmud, Khusnul, Ichi, Solikan, Hartono, Liswanto, Mustofa, Iwan, Anam, Guslan, Hasyim, Aji, dan yang lainnya, semoga cita–cita kita yang mulia terlaksana.
15. Budi , Dyland dan Wawan atas pinjaman komputernya.
16. Penghuni Gebang Lor 74, Bakti, Tajuz, Budi Wahyudi, Wawan, Andi , Budi 'Sincan', Muchlas 'suthil' Hamidy, Dylan, Yuda, Supri, Yandi, Zamroni, Pak Budi, Mas Faisol, Ari 'Timbul', dan Endarto atas segala kebersamaan kita selama ini, dukungan, cerita, gurauan dan doanya yang telah mengukir kenangan tersendiri bagi penulis.
17. Seluruh karkun di Gebang , Keputih, seperti Wawan, Hudori, Ridwan, Irfan, Syahrul, Mas Imam, Husni, Adi, Mustabiq, Budi, Sigit, Daud, Ipah, Jaya, Aslam, Fasikhun, Bagus dan yang belum tersebut namanya, terima kasih atas bantuan dan doanya, semoga Allah SWT menetapkan hidayah pada diri kita.
18. Dan semua pihak yang tidak dapat ditulis satu persatu.



Kami menyadari bahwa tidak ada gading yang tak retak, demikian pula halnya dengan penelitian ini. Meskipun demikian, kami sangat mengharapkan kiranya laporan ini dapat bermanfaat bagi semua pihak yang membutuhkannya.

Wassalaamu'alaikum Wr.Wb

Surabaya, Januari 2001

Eko Priyanto

*Hai orang-orang yang beriman, apakah sebabnya apabila dikatakan kepada kamu, “ Berangkatlah (untuk berperang) pada jalan Allah “ kamu merasa berat dan ingin tinggal di tempatmu? Apakah kamu puas dengan kehidupan di dunia sebagai ganti kehidupan di akhirat ? Padahal kenikmatan hidup di dunia ini ( dibandingkan dengan kehidupan ) di akhirat hanyalah SEDIKIT.*

**(QS. AT TAUBAH : 38)**

## **DAFTAR ISI**



## DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
ABSTRAK	iii
ABSTRACT	iv
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL	xii
BAB 1 PENDAHULUAN	
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Permasalahan	2
1.3. Batasan Masalah	3
1.4. Tujuan dan Manfaat	3
1.5. Metodologi Penelitian	3
1.6. Sistematika Penulisan	8
BAB 2 TAHANAN KAPAL KATAMARAN	
2.1. Umum	9
2.2. Tahanan Kapal Katamaran	9
2.2.1. Tahanan Gesek	11
2.2.2. Tahanan Tekanan/Bentuk	12
2.2.3. Tahanan Tahanan Gelombang	14
2.2.4. Tahanan Udara	16
BAB 3 COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS	
3.1. Umum	17
3.2. Bagian-bagian CFD Code (CFX)	19
3.2.1. Pre-processor	20
3.2.2. Flow Solver	21

3.2.2.1.	Metode Beda Hingga	21
3.2.2.2.	Metode Elemen Hingga	27
3.2.2.3.	Metode Spektral	27
3.2.3.	Post Processor	28
3.3.	Proses Validasi	29

## BAB 4 ANALISA DAN PEMBAHASAN

4.1.	Analisa Perhitungan Tahanan Kapal Katamaran dengan Menggunakan CFD	31
4.1.1.	Lapisan Batas	33
4.1.1.1.	Angka Reynolds	34
4.1.1.2.	Bentuk Benda	36
4.1.2.	Kecepatan dan Tekanan	37
4.1.2.1.	Kecepatan	38
4.1.2.2.	Tekanan	42
4.1.3.	Tahanan Model	45
4.1.3.1.	Tahanan Tekanan	46
4.1.3.2.	Tahanan Gesek	49
4.2.	Validasi Hasil	50
4.2.1.	Tekanan	50
4.2.2.	Kecepatan	50
4.2.3.	Tahanan	51

## BAB 5 PENUTUP

5.1.	Kesimpulan	54
5.2.	Saran	59

## DAFTAR PUSTAKA

## Lampiran



*Katakanlah : “ Jika bapak-bapak, anak-anak, saudara-saudara, isteri-isteri dari keluargamu, harta kekayaan yang kamu usahakan, perniagaan yang kamu khawatiri kerugiannya dan rumah-rumah tempat tinggal yang kamu sukai, adalah lebih kamu cintai dari pada Allah dan Rasul-Nya dan (dari) berjihad di jalan-Nya, maka tunggulah sampai Allah mendatangkan keputusan-Nya “. Dan Allah tidak memberi petunjuk kepada orang-orang fasik.*

**(QS AT TAUBAH : 24 )**

## **DAFTAR GAMBAR**

## DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 1.1. Geometri kapal katamaran	5
Gambar 1.2. Geometri kapal monohull	6
Gambar 2.1. Kurva tahanan benda pada berbagai kondisi yang berbeda	11
Gambar 2.2. Distribusi tekanan pada penampang elips	13
Gambar 2.3. Aliran fluida pada elips	13
Gambar 2.4. Separation point	14
Gambar 2.5. Pola gelombang Kevin	15
Gambar 2.6. Komponen tahanan kapal	16
Gambar 3.1. Desain kerja CFD	19
Gambar 3.2. Bagian-bagian CFD code	20
Gambar 3.3. Aliran massa pada elemen fluida	22
Gambar 3.4. Komponen tegangan arah sumbu x	24
Gambar 4.1. Skema penyelesaian CFX-5	31
Gambar 4.2. Grid independence	33
Gambar 4.3. Dua kawasan aliran	34
Gambar 4.4. Lapisan tipis pada benda	36
Gambar 4.5. Kecepatan aliran antara 2 hull	39
Gambar 4.6. Kecepatan dan luasan di suatu model kapal	41
Gambar 4.7. Kecepatan aliran fluida di sisi dalam hull $L/D=5$	41
Gambar 4.8. Kecepatan aliran fluida di sisi luar hull $L/D=5$	41
Gambar 4.9. Kecepatan aliran fluida di sisi dalam hull $L/D=10$	41
Gambar 4.10. Kecepatan aliran fluida di sisi luar hull $L/D=10$	41
Gambar 4.10. Kecepatan aliran fluida pada model kapal monohull	42



Gambar 4.12. Koefisien tekanan di sisi dalam hull $L/D=5$	44
Gambar 4.13. Koefisien tekanan di sisi luar hull $L/D=5$	44
Gambar 4.14. Koefisien tekanan di sisi dalam hull $L/D=10$	44
Gambar 4.15. Koefisien tekanan di sisi luar hull $L/D=10$	44
Gambar 4.16. Koefisien tekanan model kapal $L/D=5$ dan 10	45
Gambar 4.17. Koefisien tahanan tekanan model kapal $L/D=5$ dan 10	48
Gambar 4.18. Koefisien tahanan gesek model kapal $L/D=5$ dan 10	49
Gambar 4.19. Koefisien tahanan tekanan Prandtl dan CFD	52
Gambar 4.20. Koefisien tahanan gesek Prandtl dan CFD	52

*Siapakah yang lebih baik perkataannya daripada orang yang menyeru  
kepada Allah, mengerjakan amal yang shaleh dan berkata,  
“ Sesungguhnya aku termasuk orang-orang yang berserah diri ? “*

(QS. Fushshilat : 33)

## **DAFTAR TABEL**



## DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 4.1 Koefisien tahanan tekanan, gesek dan total dari Berbagai model	46
Tabel 4.2 Koefisien tahanan Prandtl dan CFD	51
Tabel 5.1 Prosentase peningkatan kecepatan aliran diantara hull	55

***“Dan sabarkanlah dirimu bersama orang-orang yang berdoa kepada Rabb-Nya di waktu pagi dan petang, mereka menghendaki keredhaan-Nya, dan janganlah engkau palingkan kedua matamu dari mereka karena menghendaki perhiasan hidup di dunia. Dan janganlah engkau mengikuti orang yang telah Kami lalaikan hatinya dari mengingat Kami, dan mengikuti hawa nafsunya dan adalah pekerjaannya berlebihan”.***

**(QS Al Kahf : 28 )**

## **BAB 1**

# **PENDAHULUAN**



# BAB 1

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Salah satu aspek yang menjadi bahan pertimbangan dalam merancang bentuk badan kapal adalah tahanan kapal. Besarnya tahanan kapal akan menentukan nilai ekonomis suatu kapal. Semakin kecil tahanan kapal, semakin tinggi nilai ekonomisnya. Tetapi sebaliknya semakin besar tahanan kapal, semakin rendah nilai ekonomis suatu kapal.

Besarnya tahanan kapal akan mempengaruhi daya mesin penggerak yang diperlukan. Kapal yang mempunyai tahanan yang kecil membutuhkan daya mesin penggerak yang kecil pula. Mesin yang berdaya kecil mempunyai kebutuhan bahan bakar (*fuel consumption*) yang rendah, sehingga pemakaian bahan bakar menjadi lebih hemat. Hal ini akan menyebabkan biaya operasional kapal menjadi lebih murah dan kebutuhan ruang untuk tangki bahan bakar bisa dikurangi. Selain itu mesin yang berdaya rendah biasanya mempunyai ukuran yang tidak terlalu besar sehingga beratnya relatif ringan. Dengan demikian kapasitas kapal menjadi lebih besar.

Saat ini belum banyak kapal katamaran yang digunakan sebagai sarana transportasi di wilayah perairan Indonesia. Padahal ada beberapa kelebihan yang tidak dimiliki oleh kapal monohull. Selain mempunyai stabilitas melintang yang lebih baik, juga mempunyai luasan dek yang lebih besar dibandingkan dengan kapal monohull (Bambang, 1998).

Pada kapal katamaran terdapat fenomena yang menarik terkait dengan tahanan yang terjadi. Dengan menganggap bahwa kapal katamaran terdiri dari 2 badan kapal, maka akan terjadi interferensi tahanan antara badan kapal tersebut. Hal ini tentu saja akan mempengaruhi besarnya tahanan kapal katamaran. Seberapa besar interferensi tahanan antara badan kapal tersebut ini belum banyak diungkap.

Untuk memprediksi tahanan suatu kapal ada beberapa cara yang dapat digunakan. Metode yang pertama adalah dengan perhitungan secara analitis. Dengan cara ini hasil yang didapat relatif lebih cepat. Namun harga yang didapat merupakan nilai pendekatan, karena beberapa faktor yang ada dalam keadaan yang sebenarnya tidak diperhitungkan. Metode yang kedua adalah dengan melakukan uji model kapal di tangki percobaan. Dengan metode ini hasil yang didapat hampir mendekati kenyataan, karena beberapa faktor yang ada dalam keadaan yang sebenarnya sudah diperhitungkan. Namun demikian proses perhitungan dengan metode ini memerlukan waktu dan biaya yang tidak sedikit. Selain biaya pengadaan fasilitas yang cukup besar juga biaya operasionalnya tidaklah sedikit. Berangkat dari kenyataan di atas maka saat ini sudah mulai dikembangkan suatu metode yang merupakan gabungan dari kedua metode tersebut. Metode ini dikenal dengan *Computational Fluid Dynamics* (CFD). Dalam metode ini tahanan kapal selain dihitung secara numerik, juga faktor-faktor yang terjadi dalam keadaan yang sebenarnya juga ikut diperhitungkan. Hasil perhitungan dengan metode ini menunjukkan hasil yang cukup akurat, waktu yang diperlukan relatif lebih singkat. Meskipun investasi awal dalam menggunakan metode ini tidaklah sedikit. Tapi investasi ini relatif lebih kecil jika dibandingkan dengan investasi untuk pengadaan laboratorium uji model.

Selanjutnya dalam tugas akhir ini dibahas persoalan tahanan kapal katamaran dengan menggunakan pendekatan CFD. Metode ini merupakan suatu hal yang relatif baru dalam perhitungan aliran fluida. Dengan menggunakan CFD dapat diteliti fenomena-fenomena yang ada dalam kapal katamaran khususnya yang terkait dengan tahanan kapal.

## 1.2 Permasalahan

Permasalahan yang ada dalam tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

- Parameter apa saja yang menyebabkan tahanan kapal katamaran (kapal berbadan ganda) lebih kecil bila dibandingkan dengan jumlah dua tahanan badan kapal yang dihitung sendiri-sendiri.



- Bagaimana keakuratan CFD dalam memprediksi tahanan kapal bila dibandingkan dengan teori atau data yang lain.

### 1.3 Batasan Masalah

Dalam menganalisa tahanan kapal katamaran pada tugas akhir ini dipakai batasan-batasan sebagai berikut :

- Analisa tahanan kapal katamaran dalam dua dimensi.
- Penampang kapal berbentuk elips, kapal katamaran digambarkan sebagai konfigurasi kapal berbadan dua.
- Perbandingan panjang badan kapal lebar badan kapal ( $L/D$ ) = 5.0 , 10.0.
- Variasi jarak antara dua badan kapal ( $S/L$ ) = 0.2 , 0.5 , 0.8 , 1.0

### 1.4 Tujuan dan Manfaat

Tujuan : menyusun suatu perhitungan prediksi tahanan kapal katamaran secara analitis dengan bantuan komputer berkecepatan tinggi.

Dari perhitungan ini diharapkan dapat dimanfaatkan untuk :

- Memprediksi tahanan kapal katamaran dengan cepat dan tepat sebelum nantinya diprediksi secara eksperimental dengan menggunakan model.
- Mengetahui parameter-parameter yang mempengaruhi besarnya tahanan kapal katamaran.

### 1.5 Metodologi Penelitian

Pengerjaan tugas akhir ini, untuk mencapai tujuan perancangan badan kapal yang optimum dari kapal katamaran dilihat dari aspek tahanan kapal, dilakukan dalam beberapa langkah pengerjaan. Metodologi penelitian meliputi tahap-tahap investigasi (pemahaman / intellegence), tahap desain (perancangan), dan tahap pemilihan yang kemudian diteruskan dengan penulisan laporan. Deskripsi untuk masing-masing tahap pekerjaan adalah sebagai berikut :

## 1. Fase Pemahaman (Intellegence)

Tahap intellegence, disebut juga tahap investigasi, merupakan tahap untuk menentukan, mengidentifikasi dan merumuskan masalah serta pengumpulan informasi yang diperlukan.

Pada fase ini terdapat beberapa langkah yang dilakukan yaitu :

- a. Mengidentifikasi dan mengklasifikasikan permasalahan yang ada, sehingga dapat dilakukan penelitian awal, untuk mengetahui fenomena bahwa tahanan kapal katamaran lebih kecil harganya dibandingkan jumlah tahanan dua badan kapal yang dihitung secara terpisah, faktor-faktor yang mempengaruhinya dan hal-hal yang berkaitan dengan arus disekeliling kapal. Dari sini dilakukan perumusan masalah dengan jelas apa yang akan diteliti dan tujuan dari diadakannya penelitian tersebut. Adapun permasalahan dalam tugas akhir ini dapat dirumuskan sebagai berikut : *bagaimana merancang suatu kapal katamaran sehingga tahanan kapal katamaran lebih kecil harganya dibandingkan dengan jumlah 2 tahanan badan kapal yang dihitung secara terpisah.*

- b. Studi pustaka

Studi kepustakaan dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui tool apa yang dapat digunakan untuk menyelesaikan permasalahan yang akan diteliti dan dilakukan eksplorasi terhadap penelitian-penelitian yang telah ada sebelumnya yang dapat dijadikan sebagai referensi bagi penelitian yang akan dilakukan ini. Tinjauan pustaka meliputi konsep dasar tahanan kapal, aliran fluida, cara kerja CFD dan cara penggunaan software CFD dimana dalam pengerjaan tugas akhir ini menggunakan CFX.

## 2. Fase Perancangan (Design)

Pada fase ini langkah-langkah yang dilakukan adalah :

- a. Memformulasikan model.

Memformulasikan model akan memudahkan untuk mencari alternatif pemecahan sesuai dengan informasi yang dikumpulkan tahap sebelumnya. Dalam hal ini ada beberapa model kapal katamaran yang akan dianalisa. Kapal katamaran dianggap sebagai dua buah elips dengan panjang dan



lebar elips ( $L/D$ ) = 5.0 dan 10.0 dan variasi jarak antara badan kapal (hull) dengan panjang elips ( $S/L$ ) = 0.2, 0.5, 0.8 dan 1.0.

Untuk arah datangnya gelombang serta geometrinya adalah sebagai berikut :

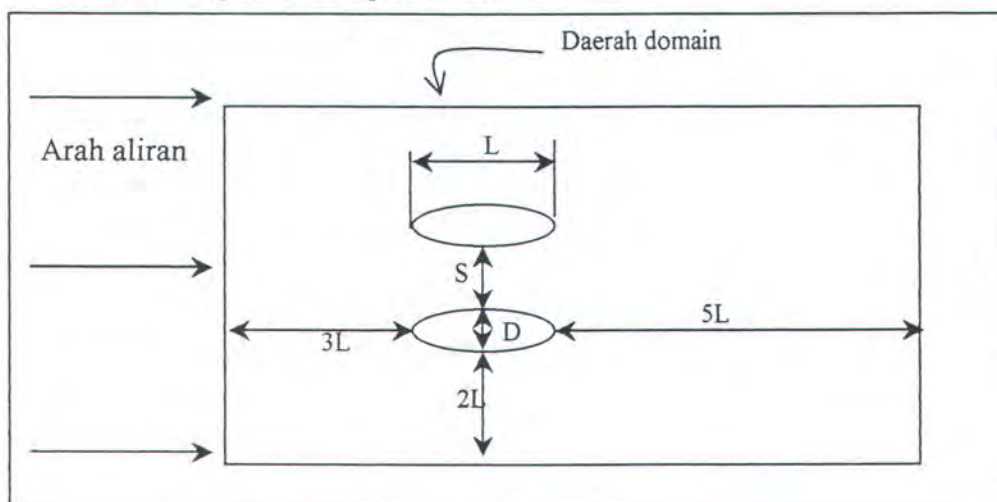
- Bentuk geometri kapal katamaran

Penentuan jarak model terhadap domain berpengaruh pada aliran yang akan terjadi pada saat proses komputasi. Apabila jarak model terhadap domain terlalu dekat, maka arah aliran akan sesuai dengan keadaan yang sebenarnya. Jika jarak model dengan bagian belakang domain terlalu dekat, maka arah aliran yang seharusnya keluar akan berbalik lagi. Untuk mengatasi hal ini, maka telah dilakukan eksperimen seberapa besar jarak domain terhadap model (Utama, 1999). Agar hasil perhitungan menghasilkan harga yang optimal maka jarak untuk suatu model terhadap domain adalah sebagai berikut :

- Jarak sisi depan domain terhadap model sejauh  $2L \sim 3L$
- Jarak sisi samping domain terhadap model sejauh  $\geq 2L$
- Jarak sisi belakang domain terhadap model sejauh  $3L \sim 5L$

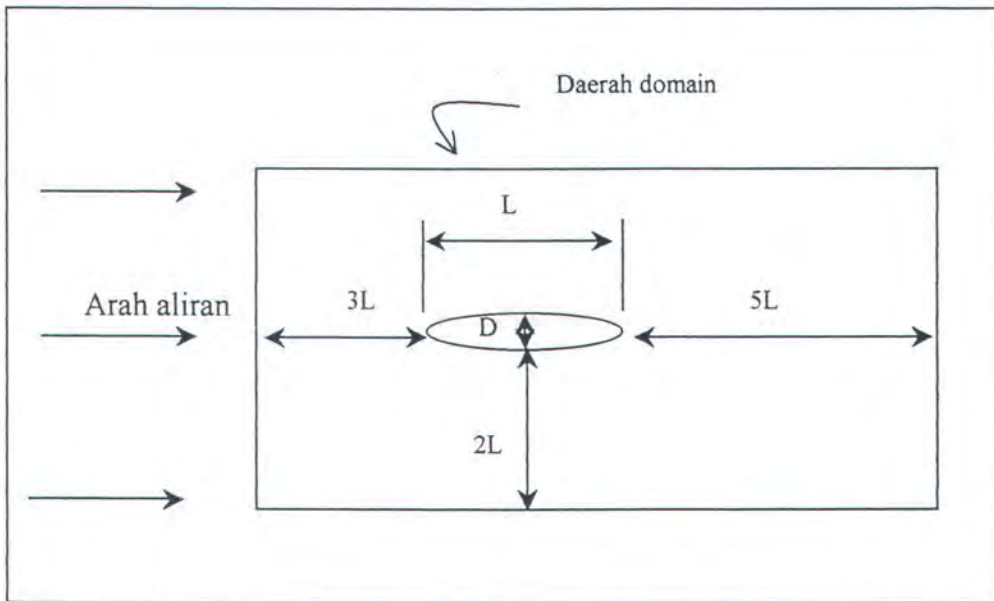
Dimana  $L$  adalah panjang model. Dengan memperhatikan harga tersebut maka dalam proses komputasi ditentukan jarak model terhadap domain adalah sebagai berikut :

- Bentuk geometri kapal katamaran



Gambar 1.1 : Geometri model kapal katamaran

- Bentuk geometri kapal monohull



Gambar 1.2 : Geometri kapal monohull

- b. Merealisasikan formulasi model tersebut dalam suatu perangkat lunak (software) yang digunakan untuk menangani permasalahan.

Dalam merealisasikan model tersebut ke software CFX dilakukan dalam beberapa tahap, yaitu :

1. Mendeskripsikan model ke dalam CFX.
2. Menentukan tipe aliran dan sifat-sifat fluida dengan spesifikasi sebagai berikut :

Tipe simulasi	: Steady state
Jenis Turbulen	: K-epsilon
Jenis Heat Transfer	: Isothermal
Jenis Buoyancy	: Non buoyancy

3. Menentukan kecepatan model.

Untuk model dengan harga  $L/D=5$  sebesar 4.877 m/s.

Untuk model dengan harga  $L/D=10$  sebesar 7.01 m/s.



4. Menentukan boundary condition dari fluid domain yang berguna untuk mengeset persamaan metode volume hingga sehingga dapat diselesaikan secara numerik dengan perincian sebagai berikut :
    1. Inlet terdiri dari 3 daerah (satu inlet utama yang memiliki nilai kecepatan fluida seperti yang diinginkan , sedangkan inlet yang lain dibuat untuk menanggulangi aliran yang keluar masuk kembali).
    2. Outlet merupakan daerah keluarnya fluida.
    3. Geometri model .
    4. Permukaan dan dasar yang memiliki sifat slip.
  4. Penentuan variabel penyelesaian.
  5. Membuat mesh pada permukaan dan mesh fluida dengan dibuatnya garis kontrol pada geometri.
  6. Menentukan pengendali dari penyelesaian yang dihasilkan dari CFX-5 solver.
  7. Menyelesaikan program dengan melakukan running pada CFX-5 solver.
  8. Memvisualisasikan hasil running CFX-5.
  9. Mendapatkan data output dari running CFX-5
3. Fase Pemilihan (Choice)
- Pada fase ini langkah-langkah yang dilakukan adalah :
- a. Mencari penyelesaian dari model yang dibuat.
  - b. Melakukan pemilihan alternatif-alternatif perancangan yang terbaik dari penyelesaian masalah yang dihasilkan pada tahap sebelumnya dengan mempertimbangkan kriteria-kriteria tertentu berdasarkan pada tujuan yang ingin dicapai.
  - c. Melakukan validasi terhadap model rancangan yang telah dibuat. Hal ini untuk mengetahui apakah model tersebut valid dan dapat diterapkan pada sistem nyata.

4. Setelah melalui berbagai fase perancangan diatas maka kemudian akan dapat dilakukan penarikan kesimpulan dari penelitian yang dilakukan dan proses penyusunan laporan penelitian.

#### 1.6. Sistematika Laporan

Dalam penyusunan laporan tugas akhir ini, sistematika penulisan laporan yang digunakan adalah sebagai berikut :

##### BAB 1 PENDAHULUAN

Bab ini meliputi latar belakang masalah, permasalahan, batasan masalah, metodologi penelitian, tujuan dan manfaat penelitian, dan sistematika laporan.

##### BAB 2 TAHANAN KAPAL KATAMARAN

Berisikan penjelasan mengenai berbagai komponen tahanan yang bekerja pada sebuah kapal katamaran.

##### BAB 3 COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS

Merupakan bagian yang menjelaskan cara kerja CFD, bagian-bagian CFX-5.2 dan penggunaan software CFX-5.2 yang diproduksi oleh AEA Technology.

##### BAB 4 ANALISA DAN PEMBAHASAN

Merupakan bagian yang menjelaskan hasil dari program CFX dan analisa hasil pemrograman serta validasi dengan teori dandata lainnya

##### BAB 5 PENUTUP

Dalam bab ini akan diberikan rangkuman pembahasan yang telah dilakukan dan pemilihan faktor-faktor yang berpengaruh pada tahanan kapal katamaran.



*Sesungguhnya dalam penciptaan langit dan bumi, dan silih bergantinya malam dan siang terdapat tanda-tanda bagi orang-orang yang berakal. (yaitu) orang-orang yang mengingat Allah sambil berdiri atau duduk atau dalam keadaan berbaring dan mereka memikirkan tentang penciptaan langit dan bumi (seraya berkata) : “ Ya Tuhan Kami, tiadalah Engkau menciptakan ini dengan sia-sia, Maha Suci Engkau, maka peliharalah kami dari siksa neraka “*

*(QS. Ali Imran : 190-191)*

## **BAB 2**

# **TAHANAN KAPAL KATAMARAN**



## **BAB 2**

### **TAHANAN KAPAL KATAMARAN**

#### **2.1. Umum**

Kapal katamaran sebagai sarana transportasi laut belum banyak dikembangkan di Indonesia, meskipun tipe ini memiliki banyak keunggulan antara lain mempunyai luasan geladak yang lebih besar, dan stabilitas melintang yang lebih baik dibandingkan dengan kapal monohull. Dibandingkan dengan kapal SWATH, kapal katamaran mempunyai sarat yang rendah sehingga relatif lebih mudah dioperasikan di perairan dangkal.

Salah satu aspek penting yang harus diperhatikan merancang kapal katamaran adalah persoalan tahanan dan interferensi di antara 2 badan kapal. Persoalan menentukan jarak optimal di antara 2 badan kapal menjadi krusial dalam kaitannya dengan di satu sisi persoalan tahanan dan interferensi di antara 2 badan kapal dan di sisi lain, berkaitan dengan persoalan kekuatan struktur kapal.

#### **2.2 Tahanan kapal**

Suatu benda yang terapung atau tenggelam di dalam suatu fluida dimana benda tersebut bergerak akan menerima gaya yang menahan gerak dari benda tersebut. Gaya tersebut sering disebut tahanan, yang sebenarnya merupakan gaya fluida yang bekerja pada kapal sedemikian rupa sehingga melawan gerakan kapal tersebut. Besarnya tahanan kapal sangat tergantung antara lain pada luas permukaan basah, jenis fluida, dan kecepatan kapal. Tahanan total kapal cenderung mengalami kenaikan dan grafik sejalan dengan kenaikan harga angka Froude.

Gambar 2.1 dibawah ini menunjukkan kurva untuk benda yang bergerak di permukaan atau jauh terbenam di dalam fluida yang sempurna dan yang mempunyai viskositas. Sebagai koordinat sumbu  $X$  adalah angka Froude yang dapat ditulis sebagai :



Gambar 2.1 dibawah ini menunjukkan kurva untuk benda yang bergerak di permukaan atau jauh terbenam di dalam fluida yang sempurna dan yang mempunyai viskositas. Sebagai koordinat sumbu  $X$  adalah angka Froude yang dapat ditulis sebagai :

$$F_n = \frac{V}{\sqrt{gL}} \quad (2.1)$$

Dimana

$V$  = kecepatan ( m/s )

$g$  = gravitasi ( m/s<sup>2</sup> )

$L$  = panjang kapal ( m )

Sedangkan ordinatnya adalah koefisien tahanan yang didefinisikan sebagai

$$C = \frac{R}{1/2 \rho V^2 S} \quad (2.2)$$

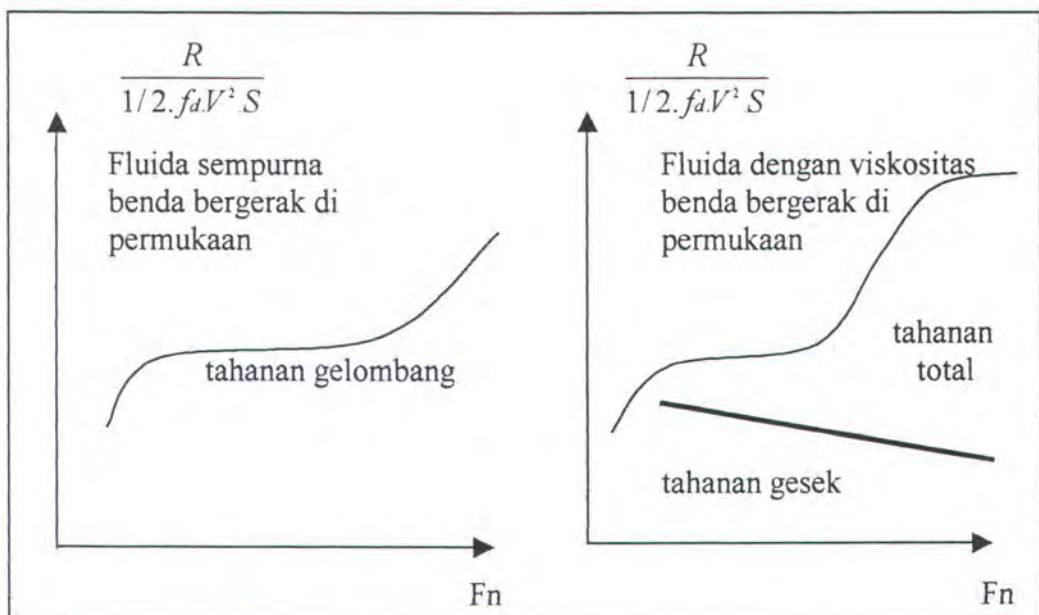
Dimana

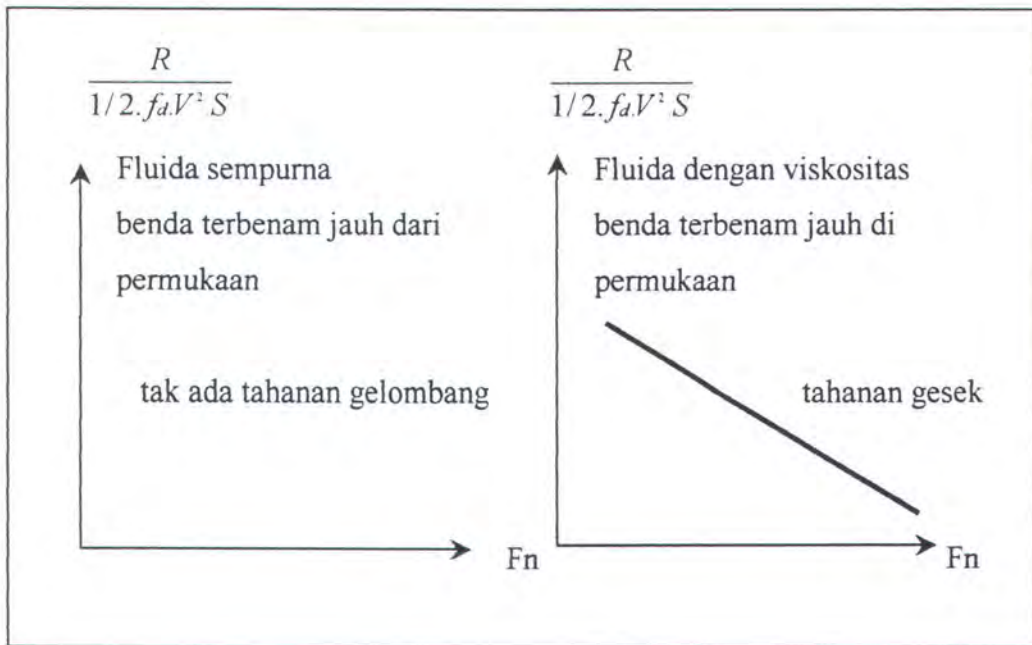
$R$  = tahanan total

$\rho$  = massa jenis fluida

$v$  = kecepatan kapal ( m )

$S$  = luas permukaan basah kapal ( m<sup>2</sup> )





Gambar 2.1 : Kurva tahanan benda pada berbagai kondisi berbeda

Menurut Todd (1951) tahanan yang bekerja pada kapal dibedakan menjadi 4 kelompok, yaitu :

1. Tahanan gesek
2. Tahanan sisa yang meliputi eddy resistance (tahanan tekanan atau bentuk dan tahanan akibat penonjolan).
3. Tahanan gelombang
4. Tahanan udara

#### 2.2.1. Tahanan Gesek

Semua fluida mempunyai viskositas yang menyebabkan gesekan. Viskositas adalah ukuran tahanan fluida terhadap geseran bila fluida tersebut bergerak. Besarnya tahanan gesek pada dasarnya tergantung pada luas permukaan basah badan kapal, tingkat kekasaran permukaan dan angka Reynolds.



Angka Reynolds dinyatakan dengan persamaan

$$R_n = \frac{VL}{\nu} \quad (2.3)$$

Dimana

- $V$  = kecepatan kapal ( m )
- $\nu$  = viskositas kinematis (  $m/s^2$  )
- $L$  = panjang kapal ( m )

Formula matematis untuk tahanan gesek adalah sebagai berikut :

$$R_f = \frac{1}{2} \rho C_f S V^2 \quad (2.4)$$

Dimana

- $R_f$  = tahanan gesek
- $\rho$  = massa jenis fluida (  $kg/m^3$  )
- $V$  = kecepatan kapal (  $m/s$  )
- $S$  = luas permukaan basah (  $m^2$  )
- $C_f$  = koefisien tahanan gesek

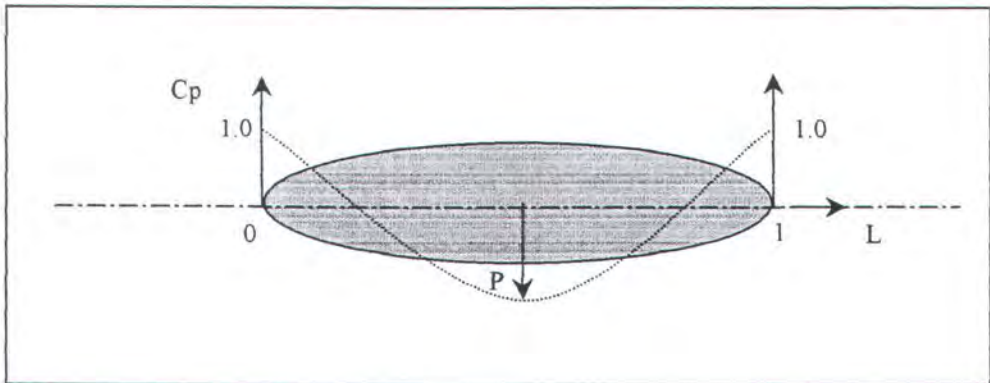
Nilai  $C_f$  dihitung dengan menggunakan persamaan empiris berupa garis korelasi ITTC-1957 yaitu :

$$C_f = 0.075/(\log R_n^{-2})^2 \quad (2.5)$$

### 2.2.2. Tahanan Tekanan/Bentuk

Bila suatu benda terapung di dalam fluida yang mempunyai kekentalan, maka pada benda terapung tersebut akan bekerja tahanan bentuk atau tekanan, sehingga besar kecilnya tahanan tersebut tergantung pada faktor bentuk benda terapung di bawah permukaan air.

Untuk memahami proses timbulnya tahanan bentuk dipakai teori aliran potensial tentang distribusi tekanan dan kecepatan sepanjang benda terapung yang bergerak dalam air. Perhatikan Gambar 2.2, suatu benda apung yang berbentuk penampang elips, maka distribusi tekanan yang bekerja pada penampang tersebut dapat dilihat pada gambar berikut.

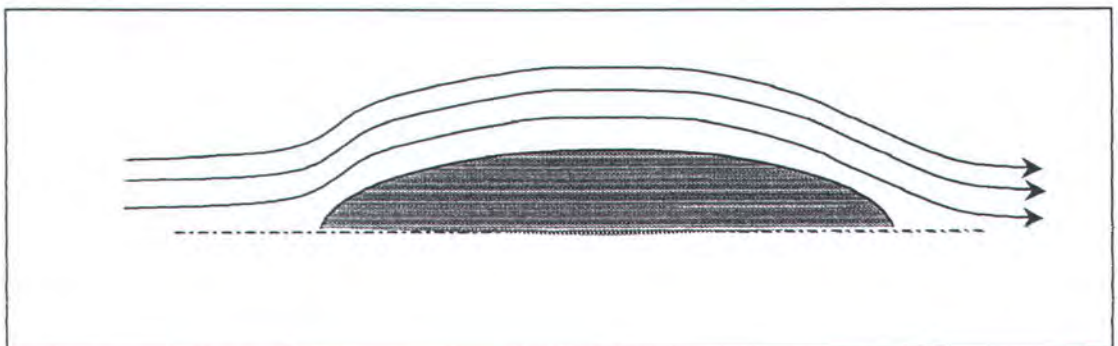


Gambar 2.2 : Distribusi tekanan pada penampang elips

Menurut teori aliran potensial, pada penampang elips tersebut akan terjadi tekanan tinggi dan kecepatan rendah pada bagian depan. Kemudian pada bagian tengah kecepatan naik dan tekanan berkurang. Sedang pada bagian belakang tekanan kembali naik dan kecepatan berkurang (White, 1979).

Akibat adanya viskositas, aliran fluida sepanjang penampang tersebut akan mempunyai bentuk yang bermacam-macam. Turunnya kecepatan pada bagian belakang menjadi sangat rendah bahkan mencapai nol, tergantung pada bentuk bagian belakang. Pada bagian dimana kecepatan aliran pada bagian belakang menjadi nol, maka pada bagian ini akan terjadi pengumpulan fluida yang kehilangan energi kinetiknya. Secara sederhana berikut ini digambarkan beberapa bentuk aliran fluida yang terjadi akibat adanya viskositas.

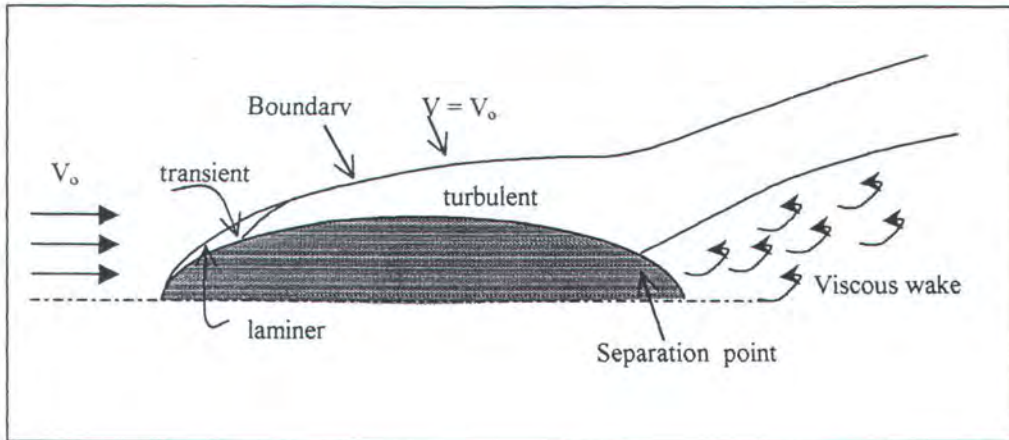
1. Aliran potensial dan boundary layer akan terpisah ke samping (boundary layer separation).



Gambar 2.3 : Aliran fluida pada penampang elips



2. Pada daerah dimana terjadi pengumpulan fluida (kecepatan menjadi nol), maka fluida yang datang kemudian bergerak mengalir mengelilingi massa air yang stationer (stagnasi/bergerak berputar-putar), sehingga pada daerah tersebut terjadi apa yang disebut dengan separation point. Kondisi ini terjadi pada bentuk penampang bagian belakang yang tumpul.



Gambar 2.4 : Separation Point

Kondisi semacam ini banyak terjadi pada kapal yang mempunyai bentuk penampang bagian belakang yang tumpul. Besarnya tahanan bentuk dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$R_d = 0.5 \rho C_d S V^2 \quad (2.6)$$

Dimana

$R_d$  = tahanan bentuk

$\rho$  = massa jenis air ( $\text{kg/m}^3$ )

$C_d$  = koefisien tahanan bentuk

$S$  = luas permukaan basah ( $\text{m}^2$ )

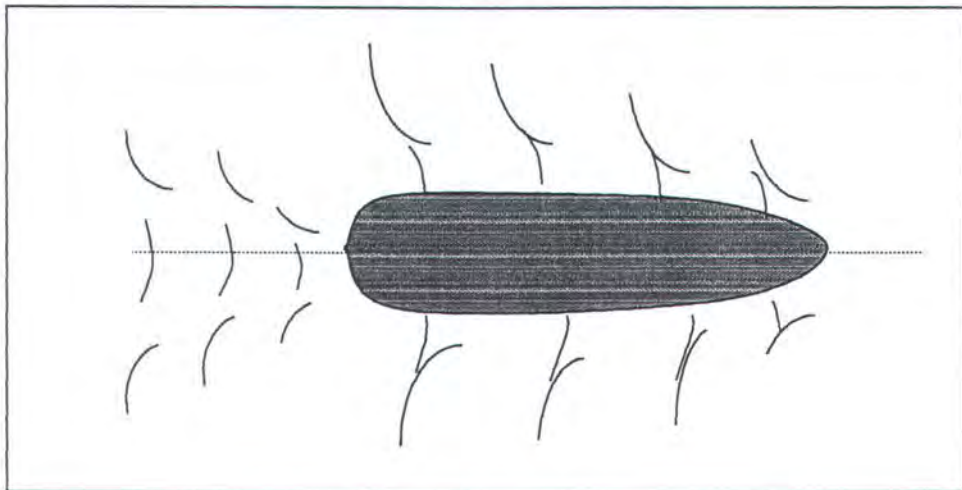
$V$  = kecepatan ( $\text{m/s}$ )

### 2.2.3 Tahanan Gelombang

Benda yang bergerak bebas pada permukaan fluida, maka akan timbul usikan terhadap permukaan benda tersebut. Perubahan tinggi permukaan benda bergerak dengan kecepatan yang sama dengan kecepatan benda itu sendiri.

Menurut Lord Kelvin, bila sebuah titik tekanan tunggal yang bergerak sepanjang garis lurus pada permukaan air, maka gerakan titik tersebut akan menimbulkan sejumlah gelombang yang bergabung membentuk suatu pola yang khas (Harvald, 1983).

Pola gelombang Kelvin tersebut memberikan banyak gambaran dan kejelasan mengenai ciri khas sistem gelombang kapal. Pada bagian depan kapal terdapat daerah yang bertekanan tinggi sehingga menimbulkan gelombang haluan yang mencolok. Sementara sistem gelombang buritan tidak begitu jelas, hal ini disebabkan karena adanya usikan dari sistem buritan itu sendiri.



Gambar 2.5 : Pola gelombang menurut Kelvin

Dalam banyak hal sistem gelombang resultan dapat dianggap terbentuk dari empat komponen (Harvald, 1983), yaitu :

1. Sistem gelombang haluan, disebabkan karena adanya daerah tekanan tinggi di sekitar haluan.
2. Sistem gelombang bahu haluan, disebabkan karena adanya tekanan rendah di sekitar bahu haluan.
3. Sistem gelombang bahu buritan, disebabkan karena adanya tekanan rendah di sekitar bahu buritan.
4. Sistem gelombang buritan, disebabkan karena adanya tekanan rendah disekitar buritan.



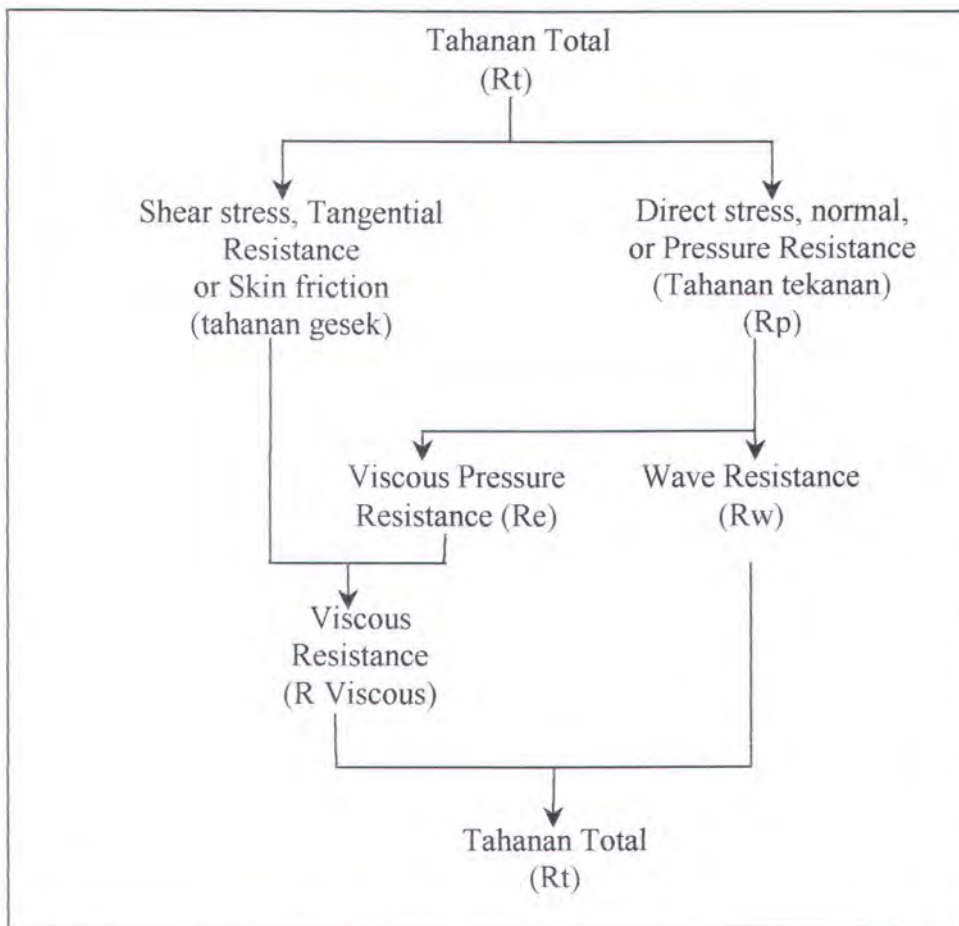
#### 2.2.4 Tahanan Udara

Prosentase tahanan udara dengan tahanan total kapal sangat kecil sehingga keberadaannya dapat diabaikan.

#### 2.2.5 Tahanan interferensi

Akibat adanya dua badan kapal yang berdekatan maka akan terjadi interferensi tahanan yang diakibatkan oleh gelombang dan viskositas. Dalam penelitian ini interferensi tahanan yang diperhitungkan adalah yang disebabkan karena viskositas.

Dari sejumlah tahanan yang terjadi, secara umum dapat digambarkan hubungan masing-masing tahanan yang terjadi pada suatu kapal, yaitu sebagai berikut (ITTC 1966) :



Gambar 2.6 : Komponen tahanan kapal

*“ Hai anakku, dirikanlah shalat dan suruhlah (manusia) mengerjakan yang baik dan cegahlah (mereka) dari perbuatan yang mungkar dan bersabarlah terhadap apa yang menimpa kamu. Sesungguhnya yang demikian itu termasuk hal-hal yang diwajibkan (oleh Allah) “*

(QS. Luqman : 17)

## **BAB 3**

# **COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS**



## **BAB 3**

### **COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS**

#### **3.1 Umum**

Computational Fluid Dynamics (CFD) didefinisikan sebagai teknik perhitungan untuk memprediksi fenomena dasar masalah aliran dengan menggunakan komputer berkemampuan tinggi. Selain itu CFD juga didefinisikan sebagai suatu analisa terhadap sistem seperti masalah aliran fluida, perpindahan panas dan fenomena lainnya yang sejenis melalui simulasi komputer (Versteeg, 1995). Teknik CFD dianggap cukup ampuh dan telah digunakan secara luas di dunia industri maupun non industri sejak awal 1990-an.

Beberapa keuntungan yang diperoleh dengan menggunakan CFD antara lain:

- Meminimumkan waktu dan biaya dalam mendesain suatu produk, bila proses desain tersebut dilakukan dengan uji eksperimen dengan akurasi tinggi.
- Memiliki kemampuan sistem studi yang dapat mengendalikan percobaan yang sulit atau tidak mungkin dilakukan melalui eksperimen.
- Memiliki kemampuan untuk studi dibawah kondisi bahaya pada saat atau sesudah melewati titik kritis (termasuk studi keselamatan dan skenario kecelakaan).
- Keakuratannya akan selalu dikontrol dalam proses desain.

Namun demikian investasi yang dikeluarkan cukup besar, tetapi tidak sebesar bila dibandingkan dengan harga dari sejumlah fasilitas yang digunakan untuk uji eksperimen seperti towing tank atau wind tunnel.

Aplikasi CFD untuk menyelesaikan masalah aliran pada kapal telah mengalami kemajuan cukup pesat pada akhir-akhir ini. Bahkan saat ini teknik CFD merupakan bagian dari proses desain dalam diagram spiral perencanaan.

Dengan CFD dimungkinkan untuk memprediksi fenomena aliran yang jauh lebih kompleks dengan berbagai tingkat akurasi.

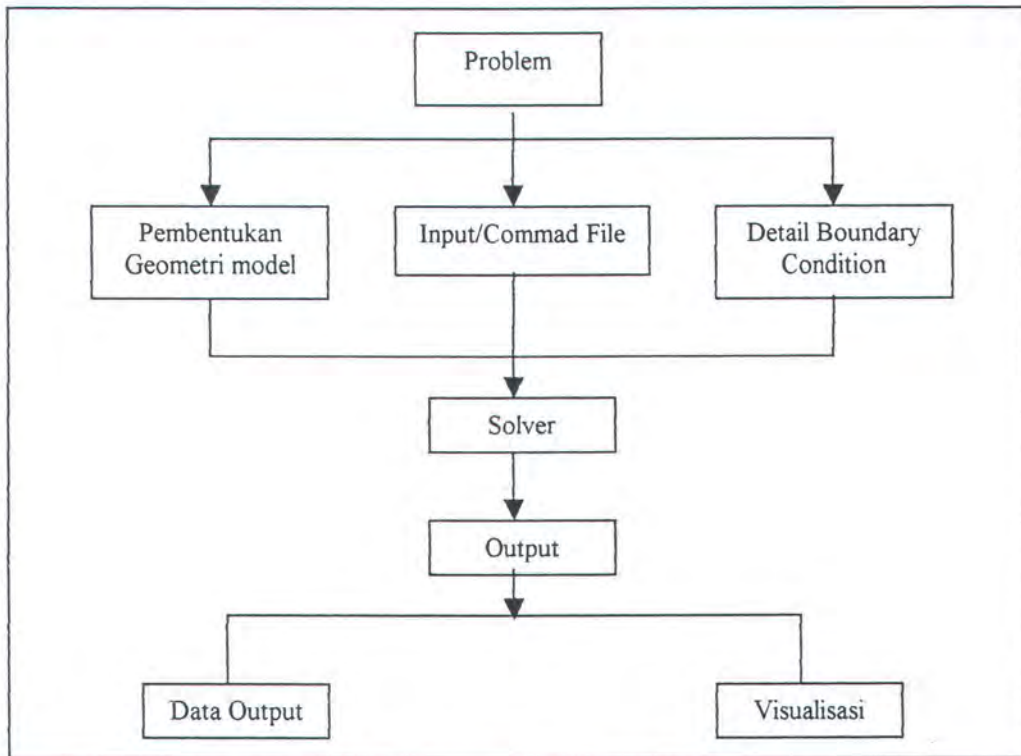
Berbagai program CFD yang bersifat komersial telah cukup banyak di pasaran seperti FLUENT, PHOENICS, CFX, STAR-CD dan lain-lain. Pada umumnya program-program komputer tersebut dapat diklasifikasikan menjadi dua kelompok berdasarkan jenis penyelesaiannya, yaitu :

1. Metode Panel
2. Metode Stokes

Pada mulanya perkembangan CFD dengan metode panel banyak mengalami hambatan terutama pada masalah komputasinya. Beberapa program yang menggunakan metode panel diantaranya adalah VSAERO/WHIP dari USA, DAWSON dari MARIN Belanda, PALISUPAN dari Universitas Southampton Inggris. Akan tetapi seiring dengan perkembangan teknik komputer maka metode penyelesaian yang digunakan cenderung mengarah pada Navier Stokes Solver (NSS) atau Reynold Average Navier Stokes (RANS). NSS mempunyai peran penting dalam pengembangan model turbulensi RANS Code. RANS Code paling banyak digunakan oleh program-program CFD untuk menyelesaikan masalah aliran dengan memanfaatkan persamaan Navier Stokes kemudian merata-ratakan terhadap waktu.

Dalam desain kerjanya, problem yang ada perlu dideskripsikan ke dalam software CFD dengan menggambarkan model yang akan dianalisa, sifat-sifat fluida yang ada di sekitar model dan juga penentuan kondisi batasnya. Selanjutnya dalam solver problem yang ada akan di hitung dengan pendekatan persamaan Navier-Stokes. Dari hasil perhitungan kemudian didapatkan hasil output dari running program CFD. Adapun desain kerja CFD adalah sebagai berikut (lihat Gambar 3.1 ) :





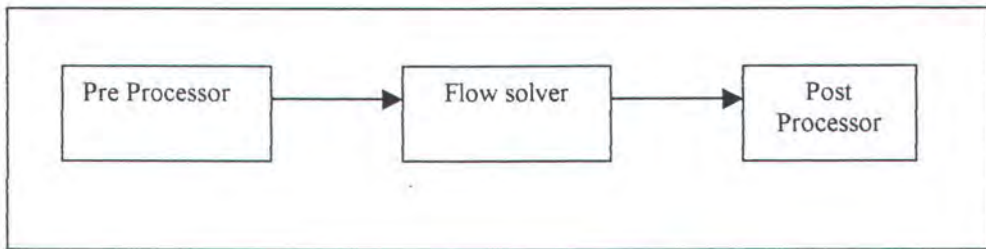
Gambar 3.1 : Desain kerja CFD

Dalam CFD dilakukan pembuatan persamaan yang menggambarkan proses momentum, perambatan panas dan massa yang dikenal dengan persamaan Navier-Stokes. Persamaan tersebut dikenal dengan penyelesaian secara numerik dan diskrit. Metode penyelesaian yang digunakan dalam CFD dikenal sebagai metode volume hingga (Finite Volume Technique). Di dalam teknik tersebut daerah yang dianalisa dibagi menjadi sub daerah yang kecil yang dinamakan control volume (AEA Technology, 1996).

### 3.2 Bagian-bagian CFD Code (CFX)

Program CFD dibuat terstruktur dan dilengkapi dengan interface untuk memudahkan dalam pemasukan data input dan pengamatan hasil *running* program. Program CFD terdiri dari tiga bagian dasar (lihat Gambar 3.2), yaitu :

1. Pre Processor
2. Flow Solver
3. Post Processor



Gambar 3.2 Bagian – bagian CFD Code

### 3.2.1 Pre-processor

Pada bagian ini terdiri dari input masalah aliran untuk program CFD melalui suatu interface kemudian merubahnya menjadi bentuk yang sesuai dengan format yang dikehendaki oleh bagian Flow Solver. Di bagian pre processor ini, pengguna diminta untuk mendiskripsikan :

1. Pendefinisian geometri benda dan daerah sekeliling benda sebagai domain komputasi.
2. Grid Generation
3. Penentuan fenomena fisika dan kimia yang dimodelkan.
4. Penentuan sifat-sifat fluida, seperti pendefinisian harga densitas, viskositas, temperatur fluida dan lain-lain.
5. Penentuan kondisi batas

Pada pembuatan model geometri, lokasi pembuatan kondisi batas harus ditentukan baik pada daerah sekeliling benda maupun pada daerah aliran yang diperhitungkan.

Penyelesaian masalah aliran yang berupa kecepatan, tekanan atau temperatur didefinisikan pada simpul-simpul setiap *cell*. Jumlah *cell* dalam *grid* (*mesh*) menentukan akurasi penyelesaian CFD. Pada umumnya semakin banyak *cell* semakin baik akurasi penyelesaiannya. Akan tetapi sebagai konsekuensinya,



biaya yang berkaitan dengan investasi hardware dan waktu penghitungan yang diperlukan menjadi lebih besar. Untuk mendapatkan hasil yang optimal, biasanya pembuatan mesh dilakukan tidak sama/*uniform*. Daerah yang memiliki perubahan bentuk sangat tajam, biasanya proses meshing dilakukan sangat halus, sedang pada daerah lainnya dibuat agak kasar.

### 3.2.2 Flow Solver

Metode numerik yang biasa digunakan dalam teknik CFD dapat dikelompokkan menjadi finite difference, finite element dan metode spektral. Langkah-langkah yang dikerjakan dalam metode numerik flow solver adalah sebagai berikut :

- Pendekatan variabel dari aliran yang tidak diketahui dengan fungsi yang sederhana.
- Diskritisasi pergantian fungsi tersebut menjadi persamaan aliran dan dilanjutkan dengan manipulasi persamaan matematika.
- Penyelesaian persamaan aljabar.

Dalam tahap ini akan dilakukan perhitungan tentang model yang kita buat, secara iterasi. Semakin kecil tingkat kesalahan yang kita tentukan, maka semakin banyak iterasi yang akan dilakukan.

#### 3.2.2.1. Metode Beda Hingga (Finite Difference Method)

Fungsi potensial aliran  $\phi$  yang tidak diketahui ditentukan pada titik-titik simpul grid. Ekspansi deret Taylor sering digunakan untuk memperoleh pendekatan dalam bentuk *finite difference*, turunan-turunan dari potensial aliran  $\phi$  tersebut diatas. Dengan mensubstitusi setiap turunan yang ada pada persamaan aliran dengan pendekatan tersebut, maka akan diperoleh suatu persamaan aljabar untuk setiap titik *grid*.

### Persamaan Dasar yang Digunakan

Beberapa hukum fisika yang biasanya digunakan pada analisa masalah aliran fluida terdiri dari hukum kekekalan massa dan hukum kekekalan momentum.

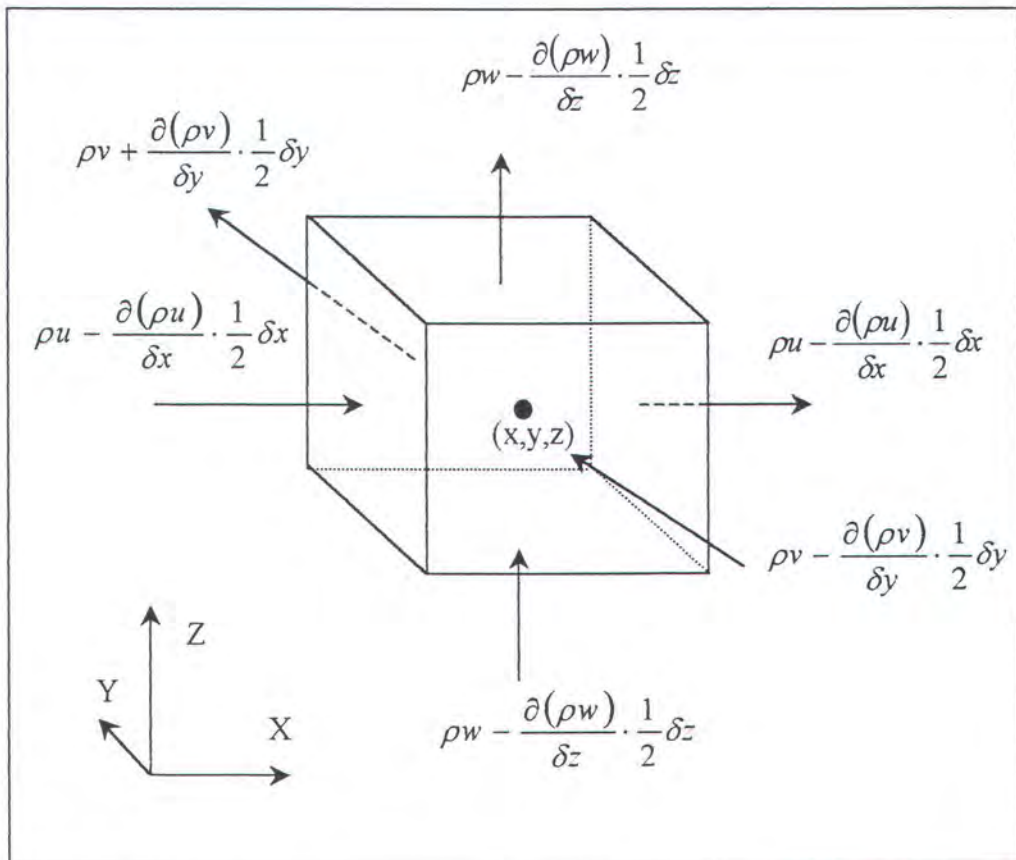
- *Hukum kekekalan massa*

Berdasarkan keseimbangan massa elemen fluida yang masuk dan keluar elemen fluida adalah sama sebagaimana diperlihatkan pada Gambar 3.3, maka diperoleh persamaan berikut :

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho v)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho w)}{\partial z} = 0 \quad (3.1)$$

atau dapat ditulis dalam bentuk vektor sebagai berikut :

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \text{div}(\rho \mathbf{u}) = 0 \quad (3.2)$$



Gambar 3.3 : Aliran massa pada elemen fluida



Persamaan (3.2) merupakan persamaan kekekalan massa atau persamaan kontinuitas pada titik dalam fluida yang bersifat dapat dimampatkan (compressible). Suku pertama menunjukkan perubahan rata-rata kerapatan fluida per satuan waktu (massa per satuan volume). Suku kedua menunjukkan massa aliran yang meninggalkan elemen fluida, dan disebut dengan suku konveksi. Pada fluida yang bersifat incompressible (misal cairan), kerapatannya bersifat tetap sehingga persamaan diatas menjadi

$$\text{div}\mathbf{U} = 0 \quad (3.3)$$

persamaan diatas dapat ditulis dalam bentuk panjang sebagai berikut :

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial u}{\partial z} = 0 \quad (3.4)$$

- *Hukum Kekekalan Momentum*

Hukum Newton II menyatakan bahwa perubahan momentum yang terjadi pada partikel fluida adalah sama dengan jumlah gaya-gaya pada partikel tersebut. Pertambahan momentum per satuan volume dari partikel fluida diberikan oleh persamaan berikut :

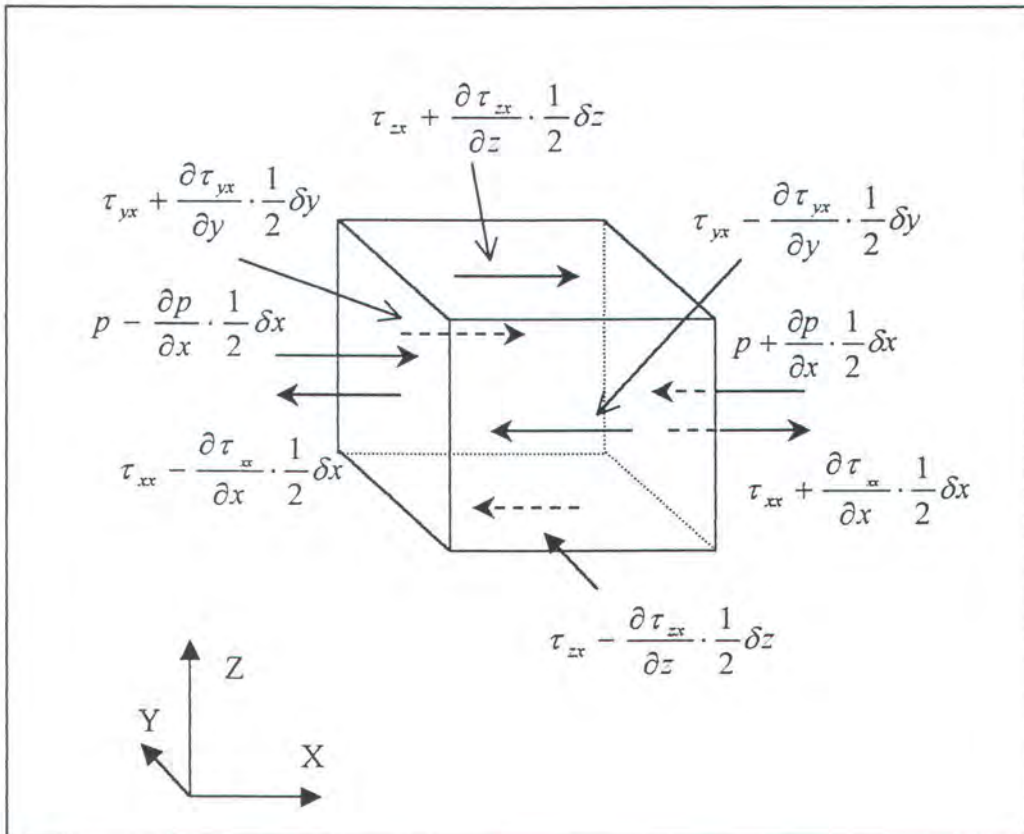
$$\rho \frac{Du}{Dt} \quad \rho \frac{Dv}{Dt} \quad \rho \frac{Dw}{Dt} \quad (3.5)$$

Gaya yang bekerja pada partikel fluida dapat dibedakan menjadi dua macam, yaitu :

- Surface force : - gaya akibat tekanan  
- gaya akibat kekentalan
- Body force : - gaya gravitasi  
- gaya sentrifugal  
- gaya elektromagnetik

Pada penurunan persamaan kekekalan momentum, peranan gaya tekanan (p) dan gaya kekentalan ( $\tau$ ) cukup penting. Dengan memperhatikan Gambar 3.4, yang menyatakan komponen gaya pada elemen fluida yang bekerja pada arah sumbu x, maka akan ditentukan selisih gaya sebesar :

$$\left(-\frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xx}}{\partial x}\right) \delta x \delta y \delta z + \frac{\partial \tau_{yx}}{\partial y} \delta x \delta y \delta z + \frac{\partial \tau_{zx}}{\partial z} \delta x \delta y \delta z \quad (3.6)$$



Gambar 3.4 : Komponen tegangan arah sumbu x

Bila persamaan (3.6) dibagi dengan volume  $\delta x \delta y \delta z$  maka diperoleh

$$\frac{\partial(-p + \tau_{xx})}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yx}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zx}}{\partial z} \quad (3.7)$$

Bila pengaruh body force dinyatakan sebagai besaran source,  $S_{MX}$ , sedangkan persamaan momentum untuk arah sumbu x dapat diperoleh sebagai hubungan perubahan momentum pada partikel fluida sama dengan jumlah seluruh gaya-gaya akibat tegangan permukaan, persamaan (3.7) ditambah dengan perubahan momentum akibat adanya source, maka persamaan momentum arah sumbu x dapat dinyatakan sebagai berikut :



$$\rho \frac{Du}{Dt} = \frac{\partial(-p + \tau_{xx})}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yx}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zx}}{\partial z} + S_{Mx} \quad (3.8)$$

komponen persamaan momentum untuk arah sumbu  $y$  dinyatakan sebagai berikut :

$$\rho \frac{Dv}{Dt} = \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial(-p + \tau_{yy})}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zy}}{\partial z} + S_{My} \quad (3.9)$$

komponen persamaan momentum untuk arah sumbu  $z$  dinyatakan sebagai berikut :

$$\rho \frac{Dw}{Dt} = \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial y} + \frac{\partial(-p + \tau_{zz})}{\partial z} + S_{Mz} \quad (3.10)$$



#### Persamaan Navier Stokes untuk Fluida Newtonian

Persamaan penentu dalam aliran fluida mengandung besaran yang tidak diketahui yaitu komponen tegangan kekentalan  $\tau_{ij}$ . Dalam aliran fluida, tegangan kekentalan tersebut dapat dinyatakan sebagai fungsi deformasi lokal. Pada analisa tiga dimensi, deformasi lokal tersebut terdiri dari deformasi linear dan deformasi *volumetric*.

Deformasi linear dibedakan menjadi :

1. Komponen deformasi elongasi, yang dinyatakan sebagai berikut :

$$e_{xx} = \frac{\partial u}{\partial x} \quad e_{yy} = \frac{\partial v}{\partial y} \quad e_{zz} = \frac{\partial w}{\partial z} \quad (3.11)$$

2. Komponen deformasi geser, yang dinyatakan sebagai berikut :

$$\begin{aligned} e_{xy} = e_{yx} &= \frac{1}{2} \left( \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right) \\ e_{xz} = e_{zx} &= \frac{1}{2} \left( \frac{\partial u}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial x} \right) \\ e_{yz} = e_{zy} &= \frac{1}{2} \left( \frac{\partial v}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial y} \right) \end{aligned} \quad (3.12)$$

Deformasi volumetric dinyatakan sebagai berikut :

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = \text{div } \mathbf{u} \quad (3.13)$$

Pada fluida yang bersifat Newtonian, tegangan kekentalan berbanding lurus terhadap deformasi. Dengan memasukkan besaran-besaran viskositas  $\mu$  untuk deformasi linear dan  $\lambda$  untuk deformasi *volumetric* maka diperoleh komponen tegangan kekentalan sebagai berikut :

$$\tau_{xx} = 2\mu \frac{\partial u}{\partial x} + \lambda \text{div } \mathbf{u}$$

$$\tau_{yy} = 2\mu \frac{\partial v}{\partial y} + \lambda \text{div } \mathbf{u}$$

$$\tau_{zz} = 2\mu \frac{\partial w}{\partial z} + \lambda \text{div } \mathbf{u}$$

$$\tau_{xy} = \tau_{yx} = \mu \left( \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right) \quad (3.14)$$

$$\tau_{xz} = \tau_{zx} = \mu \left( \frac{\partial u}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial x} \right)$$

$$\tau_{yz} = \tau_{zy} = \mu \left( \frac{\partial v}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial y} \right)$$

dengan substitusi persamaan (3.14) kedalam persamaan (3.8) sampai (3.10) maka akan diperoleh persamaan Navier-Stokes, yang nantinya digunakan dalam metode finite volume.

$$\rho \frac{Du}{Dt} = -\frac{\partial p}{\partial x} + \text{div}(\mu \cdot \text{grad}.u) + S_{Mx}$$

$$\rho \frac{Dv}{Dt} = -\frac{\partial p}{\partial y} + \text{div}(\mu \cdot \text{grad}.v) + S_{My}$$

$$\rho \frac{Dw}{Dt} = -\frac{\partial p}{\partial z} + \text{div}(\mu \cdot \text{grad}.w) + S_{Mz}$$



### 3.2.2.2. Metode Elemen Hingga (Finite Element Method)

Metode ini menggunakan fungsi bentuk sederhana ( linier atau kuadrat ) pada elemen yang menggambarkan variasi variable aliran  $\phi$ . Persamaan pengendali dapat dipenuhi dengan penyelesaian  $\phi$  secara eksak. Jika perkiraan persamaan tersebut tidak terpenuhi sehingga terjadi sisa (residual) yang dapat diukur kesalahannya. Kemudian sisa tersebut diminimumkan dengan cara mengalikannya dengan fungsi berat dan pengintegralan. Hasilnya tersebut merupakan fungsi aljabar untuk koefisien yang tidak diketahui dari fungsi perkiraan.

### 3.2.2.3. Metode Spektral (Spectral Method)

Metode ini didekati dengan deret Fourier atau deret polynomial Chebyshev. Tidak seperti metode beda dan elemen hingga yang memiliki pendekatan tidak lokal tetapi valid melalui *computational domain*. Pada metode ini kita menurunkan persamaan yang tidak diketahui tersebut ke dalam persamaan pengendali dengan fungsi deret.

### Metode Volume Hingga (Finite Volume Method)

Metode ini dikembangkan sebagai formulasi khusus metode beda hingga. Secara global metode beda hingga memiliki algoritma numerik sebagai berikut :

1. Pengintegralan persamaan pengendali aliran fluida terhadap seluruh kontrol volume dari domain penyelesaian .
2. Pendiskritan yang meliputi substitusi berbagai pendekatan beda hingga dari suku-suku persamaan yang diintegrasikan tersebut diatas yang menggambarkan proses aliran seperti konveksi, difusi dan sources. Pada tahap ini persamaan integral akan diubah menjadi persamaan aljabar.
3. Penyelesaian persamaan aljabar dengan metode iterasi.

Langkah pertama tersebut diatas, membedakan metode Finite Volume dari teknik-teknik CFD lainnya. CFD Code meliputi teknik-teknik pendiskritanyang cocok untuk menyelesaikan fenomena perpindahan (transport), konveksi (akibat aliran fluida) dan difusi (akibat adanya perbedaan  $\phi$  antara satu titik dengan titik lainnya serta source (berhubungan dengan muncul dan hilangnya  $\phi$ ). Kekekalan dari variable aliran dalam finite control volume dapat diekspresikan dalam persamaan keseimbangan antara proses kenaikan dan penurunan yaitu :

$$\begin{array}{|c|} \hline \text{Perubahan } \phi \\ \text{dalam control} \\ \text{volume} \\ \text{terhadap} \\ \text{waktu} \\ \hline \end{array} = \begin{array}{|c|} \hline \text{Perubahan} \\ \phi \text{ dari} \\ \text{konveksi} \\ \text{kedalam} \\ \text{control} \\ \hline \end{array} + \begin{array}{|c|} \hline \text{Perubahan} \\ \phi \text{ difusi} \\ \text{kedalam} \\ \text{control} \\ \text{volume} \\ \hline \end{array} + \begin{array}{|c|} \hline \text{Perubahan} \\ \phi \\ \text{kedalam} \\ \text{control} \\ \text{volume} \\ \hline \end{array}$$

### 3.2.3 Post Processor

Di tahap ini, akan ditampilkan hasil dari perhitungan yang telah dilakukan pada tahap sebelumnya. Kita dapat melihat visualisasi model yang kita buat. Hal-hal yang bisa ditampilkan oleh post processor :

- Gambaran geometri model
- Tampilan vektor kecepatan
- Gerakan rotasi, translasi, dan penyakalaan
- Arah aliran fluida
- Hard copy output

Dalam proses *set-up* dan *running* simulasi CFD ada tahapan identifikasi dan formulasi permasalahan aliran dengan pertimbangan fenomena fisika dan kimia. Pemahaman yang cukup baik diperlukann dalam menyelesaikan algoritma penyelesaian numerik. Ada 3 konsep matematika yang digunakan dalam menentukan berhasil atau tidaknya algoritma, yaitu :

1. Konvergensi yaitu properti metode numerik untuk menghasilkan penyelesaian dengan pendekatan penyelesaian eksakta sebagai *grid spacing*, ukuran control volume atau ukuran elemen dikurangi mendekati nol. Konvergensi biasanya sulit untuk didapatkan secara



teoritis. Untuk kondisi lapangan menggunakan kesamaan Lax yang menyatakan bahwa untuk permasalahan linier memerlukan konvergensi.

2. Konsistensi yaitu urutan numerik untuk menghasilkan sistem persamaan aljabar yang dapat diperlihatkan sama (*equivalen*) dengan persamaan pengendali sebagai jarak grid mendekati nol.
3. Stabilitas yaitu penggunaan faktor kesalahan sebagai indikasi metode numerik. Jika sebuah teknik tidak stabil dalam setiap kesalahan pembulatan pada data awal maka dapat menyebabkan terjadinya osilasi atau divergensi.

CFD memberikan hasil fisik yang realistik dengan akurasi yang baik pada simulasi dengan *grid* yang berhingga. Ada tiga sifat perhitungan finite volume, yaitu : *Conservativeness*, *Boundedness* dan *Transportiveness*. Ketiganya didesain menjadi bagian berhingga yang dapat menunjukkan keberhasilan simulasi CFD. Disamping itu ketiganya umumnya digunakan sebagai alternatif untuk konsep matematika yang akurat. Skema numerik memiliki sifat *Consevativeness* yang dapat mempertahankan kekekalan sifat-sifat fluida secara global untuk seluruh domain penyelesaiannya. Pendekatan volume hingga dapat menjamin tetap berlangsungnya kekekalan properti fluida  $\phi$  untuk tiap control volume. Proses aliran terdiri dari dua, yaitu konveksi dan difusi. Keduanya dapat dihitung pengaruh arahnya dengan bagan finite volume yaitu *transportiveness*. Sedangkan *boundedness* dapat mempertahankan kestabilan suatu metode numerik yang mensyaratkan adanya batasan harga minimum dan maksimum dari variabel-variabel aliran.

### 3.3 Proses Validasi

Proses perhitungan dengan pendekatan CFD dilakukan dengan beberapa tahap validasi, yaitu :

1. Convergence

Pada tahap ini proses iterasi perhitungan akan selalu dikontrol dengan persamaan pengendali. Jika hasil perhitungan belum sesuai dengan tingkat kesalahan yang ditentukan, maka komputasi akan terus berjalan.

2. Grid Independence

Besarnya jumlah cell yang kita gunakan dalam perhitungan akan menentukan keakuratan hasil yang didapat. Tetapi tidak selamanya dengan jumlah cell yang banyak akan menambah keakuratan hasil perhitungan. Dengan demikian pengguna dituntut untuk dapat menentukan jumlah cell yang optimum, agar waktu dan memori komputer yang terpakai tidak terlalu besar.

3. Verifikasi dengan teori atau data lain

Kekuratan hasil perhitungan dengan pendekatan CFD perlu dibandingkan dengan teori atau data lain yang sudah ada. Sehingga kevalidan hasil perhitungan tidak disangsikan lagi.



*Allah berfirman, “Wahai manusia! Sembahlah Aku, maka Aku akan melapangkan dadamu dari kecemasan, dan akan Aku hapuskan kemiskinan. Jika tidak, Aku akan penuh hatimu dengan kegelisahan dan Aku tidak akan menghapuskan kemiskinanmu”.*

*(Hadis Qudsi)*

## **BAB 4**

# **ANALISA DAN PEMBAHASAN**

## BAB 4

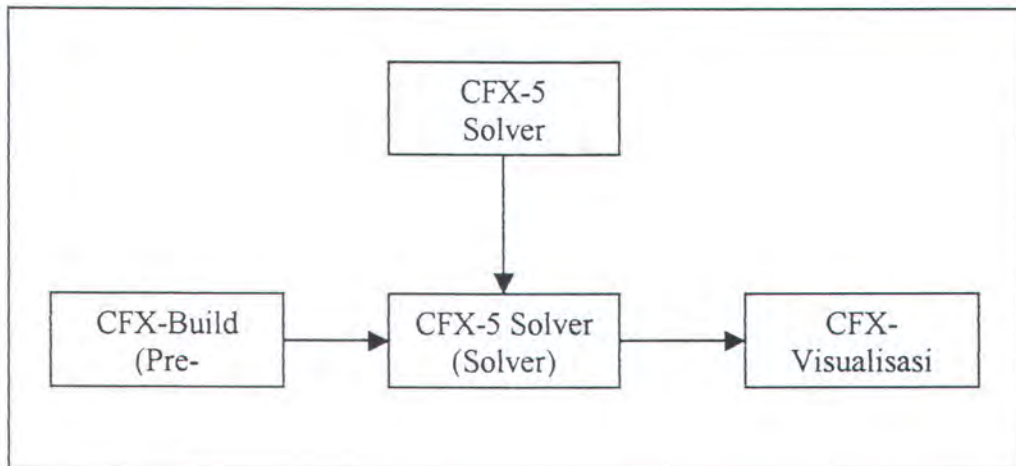
### ANALISA DAN PEMBAHASAN

Dalam tugas akhir ini, setelah proses komputasi dilakukan kemudian dilakukan analisa model tahanan kapal katamaran dan model kapal monohull. Adapun bentuk model yang dianalisa terdiri dari :

1. Model kapal katamaran dengan perbandingan panjang dan lebar ellips ( $L/D$ ) = 5, perbandingan variasi jarak antara ellips dan panjang ellips ( $S/L$ ) = 0.3, 0.5, 0.8, 1.0 dan model kapal monohull dengan perbandingan panjang dan lebar ellips ( $L/D$ ) = 5.
2. Model kapal katamaran dengan perbandingan panjang dan lebar ellips ( $L/D$ ) = 10, perbandingan variasi jarak antara ellips dan panjang ellips ( $S/L$ ) = 0.2, 0.5, 0.8, 1.0 dan model kapal monohull dengan perbandingan panjang dan lebar ellips ( $L/D$ ) = 10.

#### 4.1 Analisa Perhitungan Tahanan Kapal Katamaran dengan Menggunakan CFX-5

Dalam analisa tahanan kapal katamaran ini, digunakan software CFX-5 dengan mempergunakan Windows NT. Berikut ini urutan penyelesaian dengan mempergunakan CFX-5, seperti tampak pada Gambar 4.1. Output program lihat lampiran 5.



Gambar 4.1 : Skema penyelesaian dengan CFX 5.2



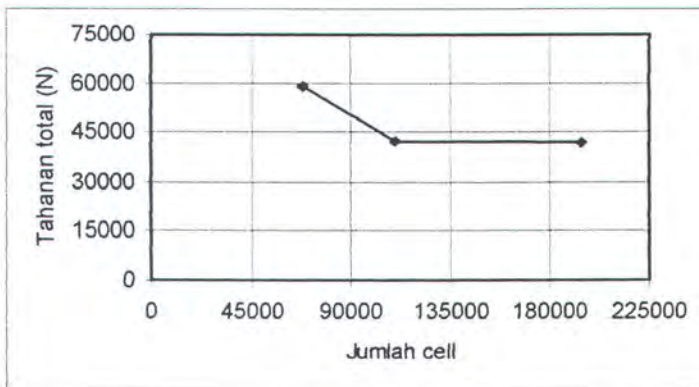
Keakuratan hasil perhitungan tergantung dari jumlah *cell* di tiap *grid*. Semakin banyak jumlah *cell* maka semakin baik akurasinya. Idealnya pada daerah yang kritis dibuat *mesh* yang lebih banyak dan bervariasi, sedangkan pada daerah yang tidak terlalu besar perubahannya dibuat *mesh* yang kasar. Tetapi tidak selalu *mesh* yang banyak akan semakin akurat hasil perhitungannya, sehingga kita diharapkan bisa mereka-reka seberapa besar *meshing* yang optimal.

Jumlah *cell* yang digunakan bisa lebih sedikit asal harganya tidak jauh berbeda dengan jumlah *cell* yang banyak. Hal inilah yang disebut dengan *grid independence*. Proses komputasi dilakukan dimulai dengan menggunakan jumlah *cell* sebanyak 67975. Kemudian digunakan jumlah *cell* sebanyak 109821, ternyata output dari running program menunjukkan hasil yang masih jauh berbeda. Selanjutnya dalam proses komputasi jumlah *cell* yang kita gunakan diperbesar menjadi hampir dua kalinya yaitu sebesar 194048. Ternyata dengan menggunakan jumlah *cell* sebanyak 109821 harga tahanan total dari model tidak jauh berbeda jika dibandingkan apabila kita menggunakan jumlah *cell* sebanyak 194048, seperti terlihat pada Gambar 4.2. Maka dalam perhitungan dapat dipakai jumlah *cell* sebanyak 109821.

Dalam proses perhitungan ini ditentukan tingkat kesalahan yang terjadi sebesar 4 %. Tingkat kesalahan yang terjadi dalam proses komputasi sebesar :

$$e = \frac{42411.48 - 41951.97}{41951.97}$$

$$= 1.1 \%$$



Gambar 4.2 : Grid independence

Penyelesaian *meshing* pada model kapal dilakukan dengan membuat *mesh* yang rapat pada daerah yang terjadi banyak perubahan yaitu pada ujung muka dan belakang dari model. Sedangkan pada daerah tengah model dibuat jarang. Hal tersebut dilakukan untuk menghemat memori tetapi tidak mengurangi keakuratan CFD.

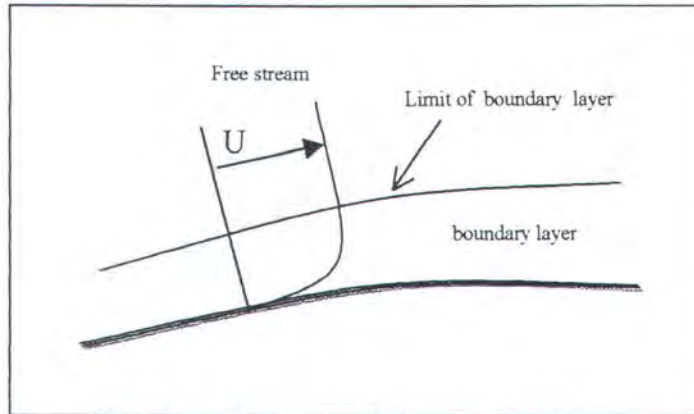
#### 4.1.1 Lapisan Batas

Suatu benda yang bergerak dengan panjang  $L$  dan mempunyai kecepatan  $V$  di suatu fluida yang mempunyai viskositas, maka pada sekeliling benda tersebut akan terbentuk suatu lapisan tipis yang biasa disebut lapisan batas (boundary layer).

Pengaruh viskositas dari suatu fluida yang mengalir atau melewati benda yang solid biasanya terbatas dalam suatu daerah lapisan tipis dekat dengan perbatasan. Di luar daerah tersebut, pengaruh viskositas sudah sangat kecil. Perhatikan Gambar 4.3 yang menunjukkan dua kawasan (domain) yang dibedakan menurut pengaruh viskositas. Kawasan pertama sering disebut sebagai lapisan batas. Pada kawasan ini kecepatan aliran adalah nol pada dinding, dan bertambah dengan cepatnya dalam perbandingan terhadap kecepatan *free-stream*. Dalam kawasan lapisan batas, distribusi kecepatan sangat dipengaruhi oleh gaya geseran.



Pada kawasan kedua, pengaruh viskositas adalah sangat kecil, gaya geseran dapat diabaikan bila dibandingkan dengan gaya inersia.



Gambar 4.3 : Dua Kawasan Aliran

Tebal tipisnya lapisan batas dipengaruhi oleh besarnya angka Reynolds dan perbandingan panjang dan lebar benda. Semakin besar angka Reynolds maka lapisan batasnya akan lebih tipis. Demikian juga semakin besar perbandingan panjang dan lebar benda, maka lapisan batasnya akan lebih tipis.

#### 4.1.1.1 Angka Reynolds

Suatu aliran seragam  $U$  bergerak sejajar dengan benda dengan panjang  $L$ . Kalau angka Reynoldnya rendah, daerah yang kental sangat lebar dan menjulur jauh ke depan dan ke samping benda tersebut, seperti ditunjukkan pada Gambar 4.4.a. Benda tersebut menahan aliran yang datang dengan kuat, dan perubahan-perubahan kecil dalam parameter-parameter aliran menyebabkan perubahan besar dalam tekanan sepanjang benda tersebut. Angka Reynolds didefinisikan sebagai berikut :

$$Re = \frac{VL}{\nu}$$

Dimana

$V$  = kecepatan benda

$L$  = panjang benda

$\nu$  = viskositas kinematis

Aliran dengan angka Reynolds yang tinggi maka lapisan batas yang terbentuk akan lebih sesuai dengan keadaan yang sebenarnya, seperti yang ditunjukkan pertama-tama oleh Prandtl pada tahun 1904. Lapisan yang kental tersebut bisa berlapis atau bergolak, adalah sangat tipis, seperti terlihat pada Gambar 4.4.b. Tebal lapisan batas  $\delta$  sebagai lokus atau tempat kedudukan titik-titik yang kecepatannya, yakni  $u$ , sejajar dengan benda dan mencapai 99% nilai kecepatan luar,  $U$ .

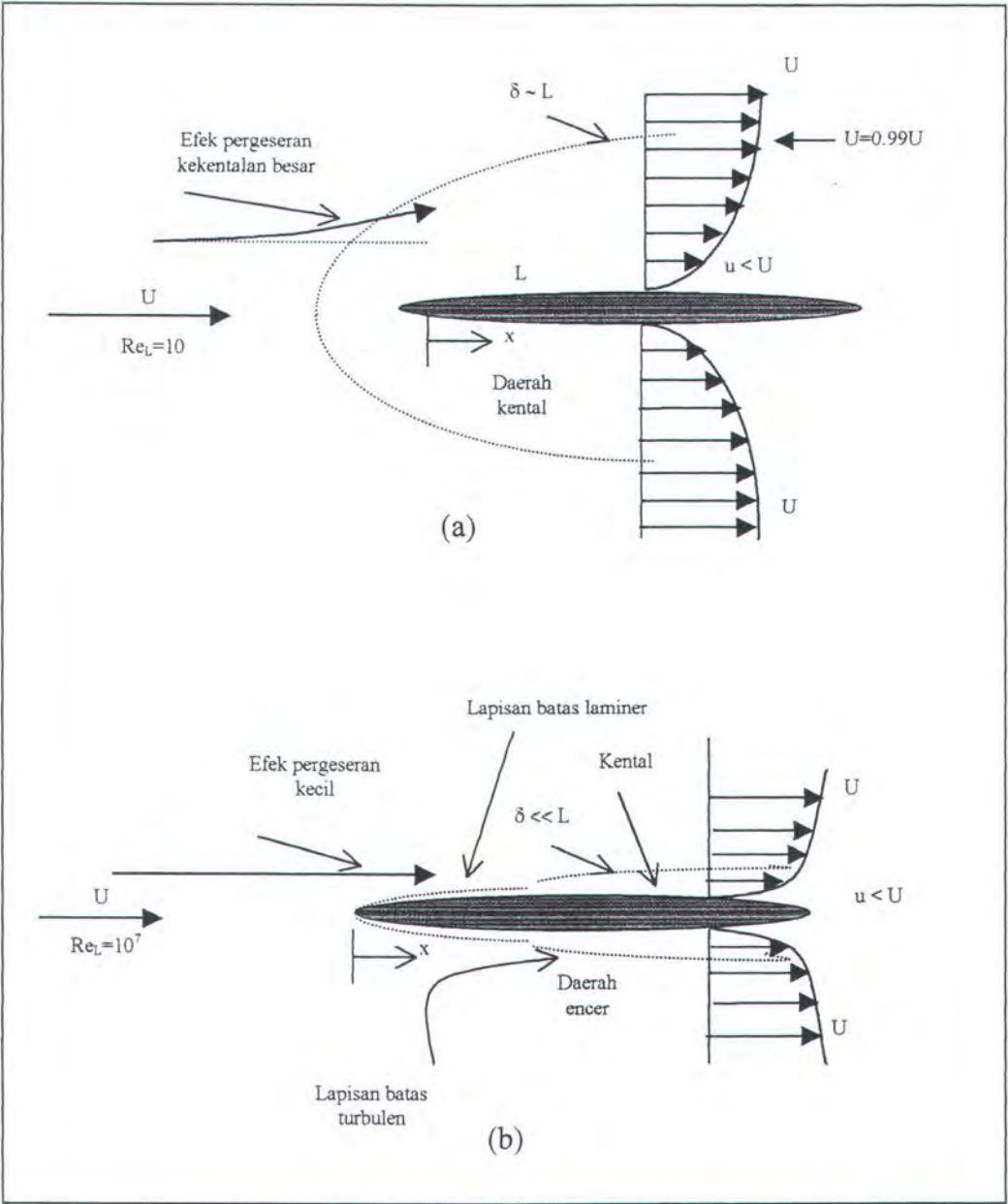
$$\frac{\delta}{x} \approx \frac{5.0}{\text{Re}_x^{1/2}} \quad \text{laminar} \quad (4.1a)$$

$$\frac{\delta}{x} \approx \frac{0.16}{\text{Re}_x^{1/7}} \quad \text{turbulen} \quad (4.1b)$$

Dalam rumus diatas  $\text{Re}_x = Ux/\nu$  disebut bilangan Reynolds lokal aliran itu sepanjang permukaan benda. Rumus aliran bergolak itu berlaku untuk  $\text{Re}_x$  diatas harga  $10^6$ .

Agar aliran yang terjadi menyeupai keadaan yang sebenarnya, maka angka Reynolds untuk model kapal harus lebih besar dari  $3 \times 10^6$ , dimana di atas harga tersebut aliran yang terjadi adalah aliran turbulen. Untuk model dengan  $L/D = 5$  didapat angka Reynolds sebesar  $6,086 \times 10^7$  dan untuk model dengan  $L/D = 10$  didapat angka Reynolds sebesar  $1,405 \times 10^8$ . Dengan demikian dalam proses komputasi terjadi aliran turbulen, dimana aliran turbulen ini mendekati keadaan yang sebenarnya.





Gambar 4.4 : Lapisan tipis pada benda

4.1.1.2. Bentuk Benda

Besarnya lapisan batas selain tergantung dari angka Reynolds juga tergantung pada perbandingan panjang dan lebar benda. Untuk benda-benda yang mempunyai perbandingan panjang dan lebar yang besar, maka lapisan batas yang terjadi adalah sangat tipis (White, 1979).

Jadi pada gerakan benda yang mempunyai bentuk sempit dan panjang serta permukaan rata, lapisan batas yang timbul akan tipis. Tetapi benda yang mempunyai perbandingan panjang dan lebar yang kecil maka pada bagian belakang benda akan timbul perubahan batas perbatasan lapisan yang besar sekali dari permukaan benda. Akhirnya pada bagian belakang benda akan timbul aliran-aliran pusaran.

#### 4.1.2. Kecepatan dan Tekanan

Dalam menganalisa kecepatan dan tekanan yang terjadi, kita lihat sebuah benda yang penampang horisontalnya berbentuk ellips, ditempatkan dibawah permukaan air dengan arah memanjang. Air dimisalkan bergerak sedangkan bendanya dalam keadaan diam dan air melewati benda dengan kecepatan yang sama. Partikel air bergerak melalui benda tersebut dengan jalan yang tertentu yang disebut garis-garis aliran. Garis-garis aliran tersebut jalannya lurus dan sejajar sebelum bertemu dengan bagian muka dari benda, tetapi setelah menemui rintangan dengan bertemunya bagian ujung muka benda, partikel-partikel air akan dibelokkan setempat dan kemudian mengikuti lengkung bentuk luar dari benda tersebut. Jadi jalannya akan melengkung di tempat benda tersebut, tidak lurus seperti semula dan akhirnya akan menjadi lurus lagi pada suatu jarak dibelakang benda tersebut.

Dimisalkan garis-garis aliran tersebut diatas sebagai suatu kumpulan atau suatu seri pipa-pipa arus yang mana masing-masing dialiri partikel-partikel air dengan jumlah yang sama selama proses berjalan. Pada waktu arus tersebut mendekati benda, mereka akan menyebar yang mengakibatkan partikel-partikel air diperlambat jalannya. Makin sampai di bagian tengah benda, arus akan dipersempit luas penampangnya yang berarti partikel-partikel air diperbesar kecepatannya. Di bagian belakang, arus akan mendapat keluasaan kembali sehingga kecepatannya menjadi lambat.

Air yang mengalir melewati penampang luar benda akan mengalami perubahan-perubahan kecepatan dan tekanan. Di dekat kedua ujung benda, terjadi peristiwa melebarnya arus dengan akibat penurunan kecepatan dan



naiknya tekanan. Pada bagian sepanjang tengah benda, terjadi suatu peristiwa menyempitnya arus dengan akibat adanya penambahan kecepatan dan berkurangnya tekanan.

#### 4.1.2.1 Kecepatan

Bila suatu benda bergerak dengan kecepatan tertentu, maka kecepatan pada ujung depan model mengalami penurunan. Di bagian belakang benda akan terjadi ulean aliran disebabkan adanya penurunan kecepatan dari partikel fluida. Untuk benda-benda yang mempunyai bentuk body yang *bluff*, ulean aliran akan jelas terlihat. Benda yang berbentuk lingkaran pada bagian belakangnya akan mengalami ulean, seperti terlihat pada lampiran 1. Untuk benda dengan  $L/D=5$ , ulean masih terjadi di bagian belakang benda. Tetapi untuk benda/model dengan  $L/D=10$  ulean mulai kurang tampak karena bentuk benda lebih ramping (Utama, 1999).

Hasil komputasi menunjukkan pada benda dengan  $L/D=5$  ulean yang terjadi kurang nampak. Hal ini disebabkan karena jumlah *cell* yang digunakan kurang banyak, terutama di daerah kritis yaitu di ujung-ujung benda sehingga perubahan pressure gradient kurang sempurna terekam oleh program CFD. Sedangkan pada model dengan  $L/D=10$ , tidak terlihat adanya ulean di belakang benda.

Menurut White (1979) tekanan dan geseran tergantung pada bentuk dari model atau struktur karena adanya pemisahan aliran (*flow separation*). Bentuk ujung yang berbeda dapat menyebabkan pemisahan aliran dan koefisien geser yang berbeda sehingga gaya geser dan tekanan juga berbeda.

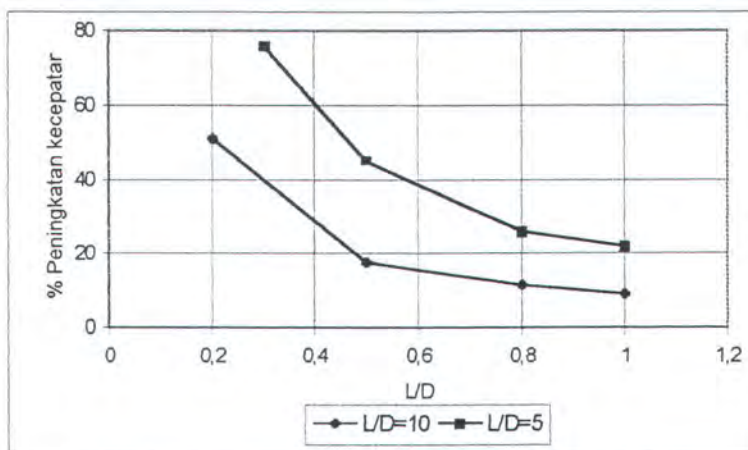
Terjadinya turbulen pada bagian akhir model selain dapat dilihat dari hasil visualisasi dapat juga dilihat dari hasil *running* program yang memiliki nilai  $y^+$ . Nilai  $y^+$  ini merupakan koefisien aliran. Menurut Malalasekera dan Versteeg (1995), hasil komputasi akan memuaskan bila harga  $y^+$  berkisar antara 11,63 sampai dengan 500. Suatu aliran termasuk laminar jika nilai  $y^+ \leq 11,63$  sedangkan aliran turbulen akan terjadi jika nilai  $y^+ > 11,63$ . Berdasarkan hasil output dari program harga  $y^+$  berkisar 300 sampai dengan 400 (Nilai  $y^+$  untuk

masing-masing model lihat lampiran 4). Dengan demikian aliran fluida tersebut dapat dikategorikan dalam aliran turbulen.

Dari hasil visualisasi model yang mempunyai perbandingan panjang dan lebar yang kecil ( $L/D = 5$ ) memperlihatkan adanya penurunan kecepatan yang cukup signifikan di bagian belakang, sehingga di daerah tersebut terjadi ulekan (eddies). Untuk model dengan perbandingan panjang dan lebar yang lebih besar ( $L/D = 10$ ) juga menunjukkan adanya penurunan kecepatan di belakang, tetapi dari visualisasi vektor kecepatan di bagian belakang model ini, ulekan aliran tidak jelas terlihat. Hal ini juga terjadi di bagian depan model, dimana kecepatan partikel fluida turun kemudian akan naik sepanjang bagian tengah model dan akan turun lagi di bagian belakang model.

#### a. Kecepatan di antara Badan Kapal

Untuk model katamaran dengan variasi jarak tertentu, kecepatan aliran di antara model badan kapal/elips terlihat adanya peningkatan. Dari hasil komputasi menunjukkan dengan variasi jarak yang sama ( $S/L$ ) untuk model yang gemuk ( $L/D=5$ ) prosentase peningkatan kecepatan aliran diantara 2 model lebih besar dibandingkan dengan model yang lebih langsing ( $L/D=10$ ), seperti terlihat pada Gambar 4.5. Hal ini disebabkan pada model yang gemuk ( $L/D=5$ ) untuk perbandingan  $S/L$  yang sama jarak antar badan kapal lebih dekat, sehingga ini akan mempengaruhi kecepatan diantara dua model badan kapal.



Gambar 4.5 : Kecepatan aliran di antara 2 hull



Dalam menganalisa kecepatan yang terjadi, perhatikan Gambar 4.6 dimana bagian di antara badan kapal maka daerah tersebut dianggap sebagai suatu daerah yang tertutup yang dilalui oleh aliran fluida, maka kecepatan yang terjadi akan tergantung pada luasan setempat. Ketika aliran fluida berada di bagian depan model katamaran maka kecepatan yang terjadi akan sedikit mengalami kenaikan disebabkan adanya luasan daerah setempat yang berkurang. Kemudian ketika aliran fluida mencapai bagian tengah antara badan kapal, maka kecepatannya akan mengalami kenaikan disebabkan luasan pada daerah tersebut lebih sempit. Setelah melewati daerah tengah ini, maka kecepatannya akan berkurang seiring dengan meluasnya kembali daerah di belakangnya. Ketika badan kapal didekatkan maka kecepatan aliran fluida akan mengalami kenaikan yang cukup signifikan, karena luasan diantara badan kapal menjadi lebih sempit. Hal ini sesuai dengan hukum kontinuitas, yang dirumuskan sebagai berikut

$$A_1 \times V_1 = A_2 \times V_2$$

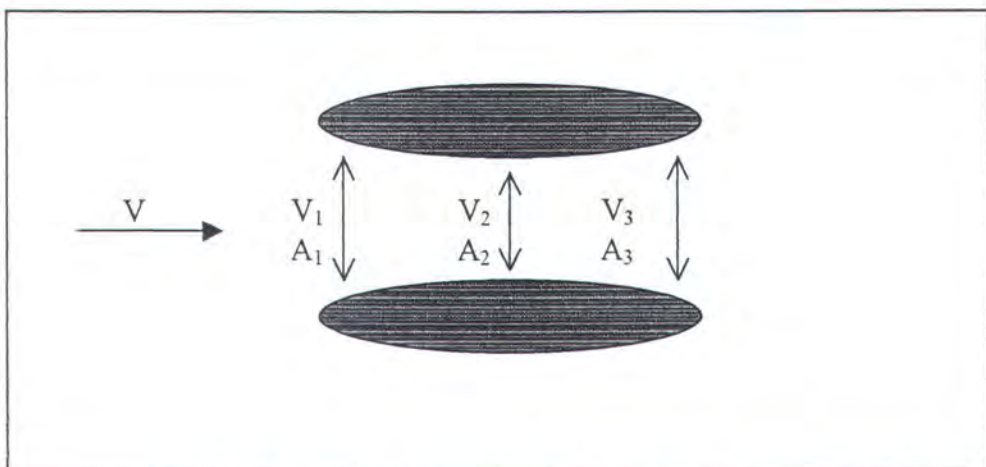
Dimana

$A_1$  = Luasan daerah 1

$A_2$  = Luasan daerah 2

$V_1$  = Kecepatan aliran di daerah 1

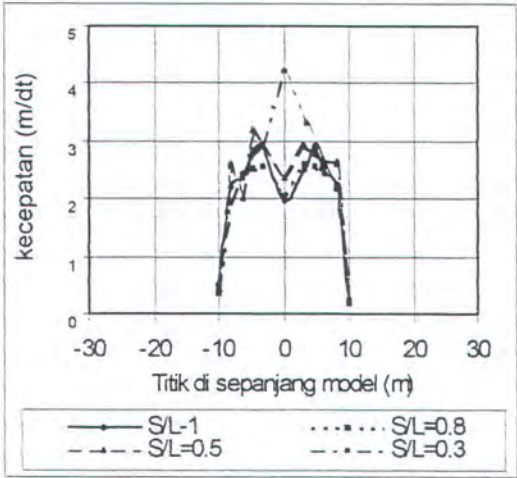
$V_2$  = Kecepatan aliran di daerah 2



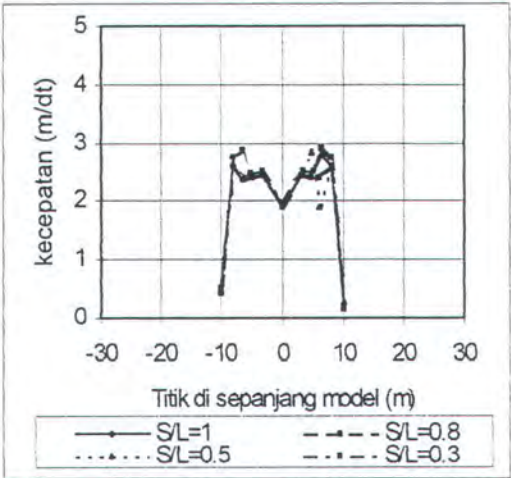
Gambar 4.6 : Kecepatan dan luasan di suatu model kapal

b. Kecepatan di Sisi Badan Kapal

Kecepatan aliran fluida di sisi luar hull dan di sisi dalam hull menunjukkan adanya perbedaan ketika badan kapal didekatkan. Kecepatan aliran di sisi luar hull menunjukkan adanya suatu kecenderungan yang hampir sama baik untuk model dengan harga  $L/D=5$ , maupun model dengan  $L/D=10$ . Hal ini dapat dilihat pada Gambar 4.8 dan 4.10. Kecepatan aliran di sisi dalam hull terlihat berbeda dengan kecepatan di sisi luar hull. Untuk model dengan harga  $L/D =5$  kecenderungan kecepatan aliran di sisi dalam hull hampir sama kecuali pada variasi  $S/L=0,3$  yang mengalami fluktuasi yang cukup besar yaitu 1.077% jika dibandingkan model dengan  $S/L=1$  seperti terlihat pada Gambar 4.7. Untuk model dengan harga  $L/D =10$  kecepatan aliran yang terjadi mempunyai kecenderungan yang hampir sama, tetapi menunjukkan adanya selisih perbedaan yaitu sebesar 0,362%, seperti tampak pada Gambar 4.9.

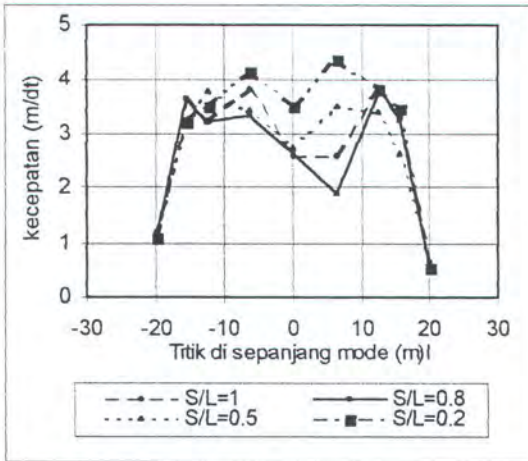


Gambar 4.7 : Kecepatan aliran fluida di sisi dalam hull  $L/D=5$

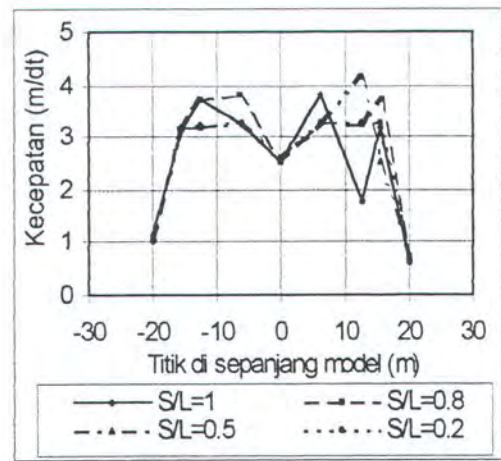


Gambar 4.8 : Kecepatan aliran fluida di sisi luar hull  $L/D=5$

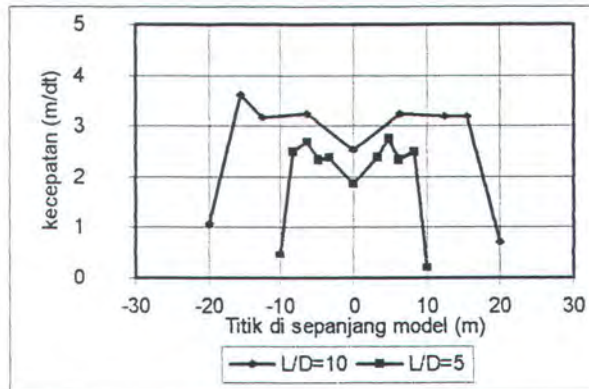




Gambar 4.9 : Kecepatan aliran fluida di sisi dalam hull  $L/D=10$



Gambar 4.10 : Kecepatan aliran fluida di sisi luar hull  $L/D=10$



Gambar 4.11 : Kecepatan aliran fluida pada kapal monohull

#### 4.1.2.2 Tekanan

Benda-benda yang bergerak di suatu fluida dengan kecepatan tertentu akan memiliki tekanan yang berbeda di tiap tempat dari benda tersebut. Hal ini terkait dengan kecepatan yang aliran yang terjadi di tempat kedudukan tersebut dan juga density dari fluida tersebut. Besarnya tekanan yang terjadi, umumnya dirumuskan dengan koefisien tekanan, yaitu:

$$C_p = \frac{P_o - P_\infty}{\frac{1}{2} \rho V^2}$$

dimana

$P$  = tekanan di suatu titik

$P_\infty$  = tekanan di aliran bebas

$\rho$  = density

$V$  = kecepatan di aliran bebas.

Di bagian depan dari model mempunyai tekanan yang cukup besar, kemudian tekanan tersebut akan turun dan akan naik lagi di bagian belakang model. Hal ini berbeda dengan kecepatan aliran, dimana di ujung depan kecepatannya rendah kemudian naik di tengah benda dan turun lagi di bagian belakang benda.

#### a. Tekanan di Sisi Badan Kapal

Pada model kapal katamaran ketika badan kapal didekatkan, tekanan di sisi luar hull untuk model yang gemuk ( $L/D=5$ ) dan model yang langsing ( $L/D=10$ ) mempunyai kecenderungan yang serupa dan tidak menunjukkan adanya suatu perbedaan yang besar, perbedaan yang terjadi relatif kecil, seperti terlihat pada gambar 4.13 dan 4.15.

Namun, untuk koefisien tekanan di sisi dalam hull, ketika badan kapal didekatkan menunjukkan adanya suatu perbedaan yang cukup signifikan. Hal ini terjadi baik pada model kapal yang gemuk maupun yang langsing. Untuk model yang gemuk ( $L/D=5$ ) perbedaan cukup besar terjadi pada variasi jarak antar badan kapal ( $S/L$ ) 0,5 dan 0,3 yaitu mengalami peningkatan koefisien tekanan sebesar 2,874% dan 1,081% jika dibandingkan model dengan  $S/L=1$ , seperti tampak pada gambar 4.12. Untuk model yang langsing ( $L/D=10$ ) perbedaan tekanan hanya terlihat cukup besar pada variasi jarak antar hull ( $S/L=0,2$ ), yaitu sebesar 4.252%. Hal ini dapat dilihat pada Gambar 4.14.

#### b. Tekanan pada Model $L/D=5$ dan 10

Model kapal katamaran yang lebih gemuk ( $L/D=5$ ), tekanan di sisi dalam hull mengalami peningkatan yang cukup besar ketika badan kapal didekatkan. Pada saat model kapal didekatkan dengan variasi jarak  $S/L=1$  dan 0,8 tekanan yang terjadi tidak mengalami perbedaan yang besar. Tetapi pada variasi jarak  $S/L=0,5$  dan 0,3 perbedaan tekanan yang terjadi cukup besar, seperti



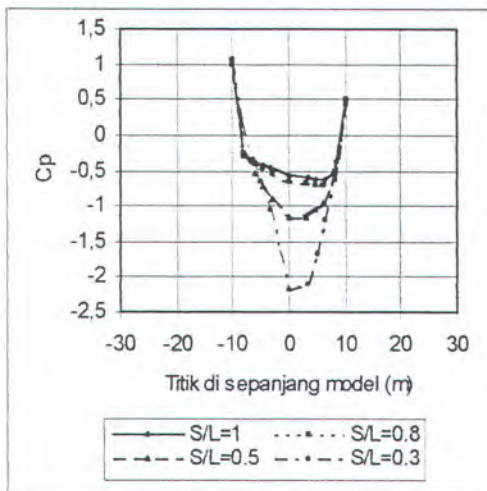


tampak pada Gambar 4.12. Hal ini disebabkan karena adanya interferensi antara 2 badan kapal.

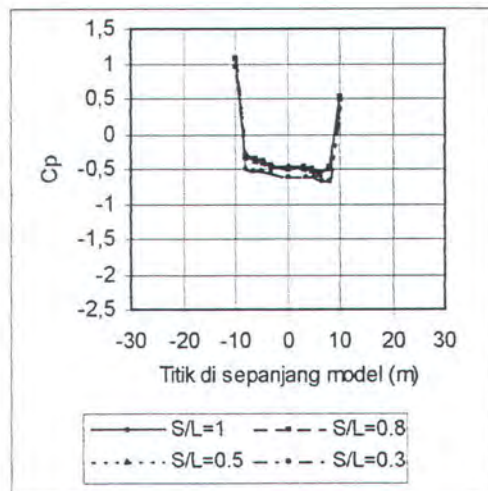
Namun, tekanan di sisi luar badan kapal tidak terjadi perbedaan yang besar, ketika badan kapal didekatkan. Di sisi luar badan kapal ini, kecepatan yang terjadi relatif sama pada saat kapal di dekatkan dengan variasi jarak  $S/L$  yang berbeda, sehingga tekanannya juga tidak banyak berubah.

Untuk model yang langsing ( $L/D=10$ ) juga menunjukkan kecenderungan yang sama. Tekanan di sisi dalam badan kapal akan mengalami perubahan ketika badan kapal didekatkan. Tetapi perubahan cukup besar hanya terjadi pada variasi jarak  $S/L=0,2$ , seperti tampak pada Gambar 4.14. Sama halnya dengan model yang lebih gemuk ( $L/D=5$ ) tekanan di sisi luar menunjukkan kecenderungan yang sama, selisih perbedaannya relatif kecil. Hal ini terjadi karena pada sisi luar hull tidak terjadi perubahan akibat didekatkannya badan kapal.

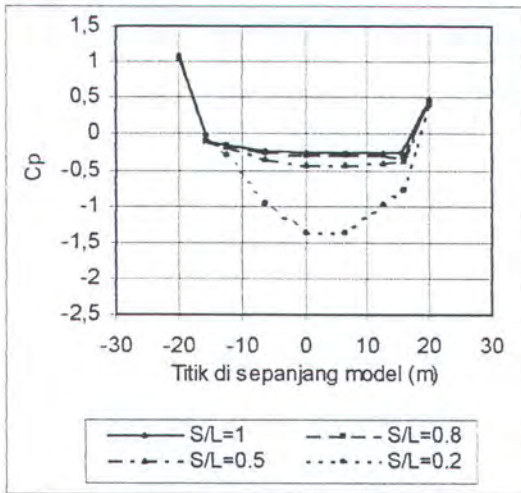
Dari hasil komputasi menunjukan bahwa koefisien tekanan untuk model dengan  $L/D = 5$  mempunyai harga yang lebih kecil di dibandingkan dengan model dengan  $L/D = 10$ , seperti tampak pada Gambar 4.16. Secara umum koefisien tekanan di sisi hull bagian dalam lebih besar harganya dibandingkan dengan tekanan di sisi hull bagian luar. Hal ini berlaku baik pada model dengan  $L/D=5$  maupun model dengan  $L/D=10$ .



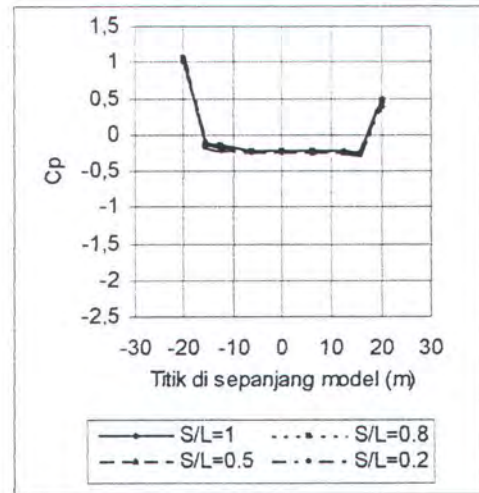
Gambar 4.12 : Koefisien tekanan di sisi dalam hull  $L/D = 5$



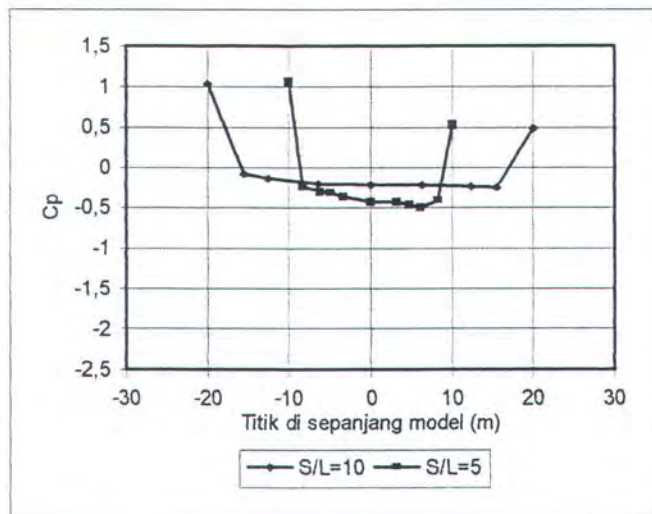
Gambar 4.13 : Koefisien tekanan di sisi luar hull  $L/D = 5$



Gambar 4.14 : Koefisien tekanan di sisi dalam hull  $L/D = 10$



Gambar 4.15 : Koefisien tekanan di sisi luar hull  $L/D = 10$



Gambar 4.16 : Koefisien tekanan model monohull

#### 4.1.3. Tahanan Model

Tahanan kapal yang dianalisa terdiri dari tahanan tekanan dan tahanan gesek pada berbagai variasi model kapal katamaran dan kapal monohull. Setelah dilakukan *running* didapatkan koefisien tahanan tekanan ( $C_n$ ), koefisien tahanan gesek ( $C_f$ ) dan koefisien tahanan total ( $C_t$ ) yang bekerja pada



model kapal. Adapun besarnya koefisien tahanan tersebut dapat dilihat pada tabel 4.1 sebagai berikut :

L/D	S/L	$C_n \times 10^{-3}$	$C_f \times 10^{-3}$	$C_t \times 10^{-3}$
5	monohull	13,91	0,079	13,91
	1	15,836	0,055	15,836
	0,8	16,542	0,0625	16,543
	0,5	18,263	0,0639	18,263
	0,3	24,191	0,067	24,191

L/D	S/L	$C_n \times 10^{-3}$	$C_f \times 10^{-3}$	$C_t \times 10^{-3}$
10	monohull	6,42	0,031	6,42
	1	6,848	0,019	6,848
	0,8	7,041	0,021	7,041
	0,5	7,755	0,024	7,755
	0,2	11,796	0,035	11,796

Tabel 4.1 : Koefisien tahanan tekanan, gesek dan total dari berbagai model

Hasil perhitungan menunjukkan bahwa besarnya koefisien tahanan model katamaran lebih kecil dibandingkan dengan harga dua kali koefisien tahanan model kapal monohull. Hal ini terjadi pada model yang gemuk ( $L/D=5$ ) dan model yang langsing ( $L/D=10$ ).

Pada tabel 4.1 tampak bahwa semakin jauh jarak antar badan kapal, koefisien tahanan yang terjadi semakin kecil. Hal ini terjadi baik pada model dengan  $L/D=5$  maupun  $L/D=10$ . Pada Gambar 4.17 tampak bahwa besarnya koefisien tahanan kapal turun secara tajam pada model dengan  $S/L=0.5$ . Besarnya prosentase penurunan ini adalah sebesar 0.324 % untuk model dengan  $L/D=5$  dan 0.521 % untuk model dengan  $L/D=10$ . Penurunan koefisien tahanan

relatif lebih kecil terjadi pada model dengan  $S/L=0.8$  terhadap model dengan  $S/L=0.5$ . Besarnya penurunan tersebut adalah 0.104 % dan 0.101 % untuk model dengan  $L/D = 5$  dan 10. Penurunan koefisien tahanan lebih kecil lagi terjadi pada model dengan  $S/L=1$  terhadap model dengan  $S/L=0.8$ . Besarnya penurunan tersebut adalah 0.045 % dan 0.028 % untuk model dengan  $L/D=5$  dan 10.

Pada jarak antara badan kapal ( $S/L$ )=1, besarnya koefisien tahanan model kapal katamaran hampir sama dengan koefisien tahanan model kapal monohull. Hasil ini kurang sesuai dengan yang telah dilakukan oleh Utama (1999) dimana besarnya koefisien tahanan kapal katamaran dengan  $S/L \approx 0.6$  mempunyai harga yang hampir sama dengan koefisien tahanan kapal monohull. Hal ini terjadi karena kurangnya jumlah jumlah cell yang digunakan dalam proses komputasi.

#### 4.1.3.1 Tahanan Tekanan/Bentuk

Pada umumnya kapal-kapal yang bentuknya baik dipandang dari segi tahanan kapal, besarnya tahanan tekanan biasanya tidak besar. Tahanan ini hanya timbul akibat garis-garis aliran yang tidak wajar yang menyelubungi badan kapal. Oleh karena itu garis-garis air dari kapal harus melengkung secara wajar. Tahanan bentuk mendominasi viscous drag pada *bluff body*, karena aliran turbulent memperlambat separation, transisi dari laminar ke turbulent boundary layer yang mengakibatkan titik separation berpindah ke belakang.

Bentuk geometri yang lebih *bluff* berakibat timbulnya ulean yang mencolok. Model dengan  $L/D=5$  menunjukkan adanya ulean di bagian belakang yang lebih besar dibandingkan model dengan  $L/D=10$ . Kecepatan fluida sama pada waktu masuk domain, selanjutnya mengecil pada waktu mendekati struktur dan membesar pada sisi struktur. Dengan bentuk ujung yang langsing ( model dengan  $L/D=10$ ) lebih mudah untuk meneruskan aliran fluida daripada model dengan  $L/D=5$ , sehingga model dengan  $L/D=10$  memiliki kriteria turbulensi yang lebih kecil sehingga tekanan yang terjadi dan gaya yang bekerja padanya lebih kecil. Dengan bentuk struktur yang lebih lebar maka pemisahan aliran yang terjadi



lebih besar sehingga koefisien gesernya besar yang berakibat tekanan dan gaya yang bekerja menjadi besar.

Bentuk luasan yang terkena arah aliran fluida akan menentukan besarnya koefisien geser yang dapat menyebabkan perubahan pada besarnya gaya yang bekerja pada struktur tersebut (White, 1979). Disamping koefisien geser dan angka Reynolds, pada konsep CFD terjadinya pemisahan aliran tergantung juga pada besarnya koefisien turbulen ( $y^+$ ).

Besarnya *drag* akan menentukan besarnya gaya yang bekerja pada struktur sehingga dengan penampang yang berbeda maka gaya yang bekerja pada model akan berbeda, karena besarnya *drag* tergantung pada bentuk penampang model yang terkena aliran fluida. Semakin *smooth* luasan permukaan model bagian depan yang terkena aliran fluida semakin kecil pula gaya yang bekerja.

Besarnya tahanan tekanan ini dirumuskan sebagai berikut :

$$F_n = \frac{1}{2} \rho \cdot C_n \cdot V^2 \cdot S$$

dimana

$F_n$  = Gaya/tahanan tekanan (kN)

$C_n$  = Koefisien tahanan tekanan

$\rho$  = Density (ton/m<sup>3</sup>)

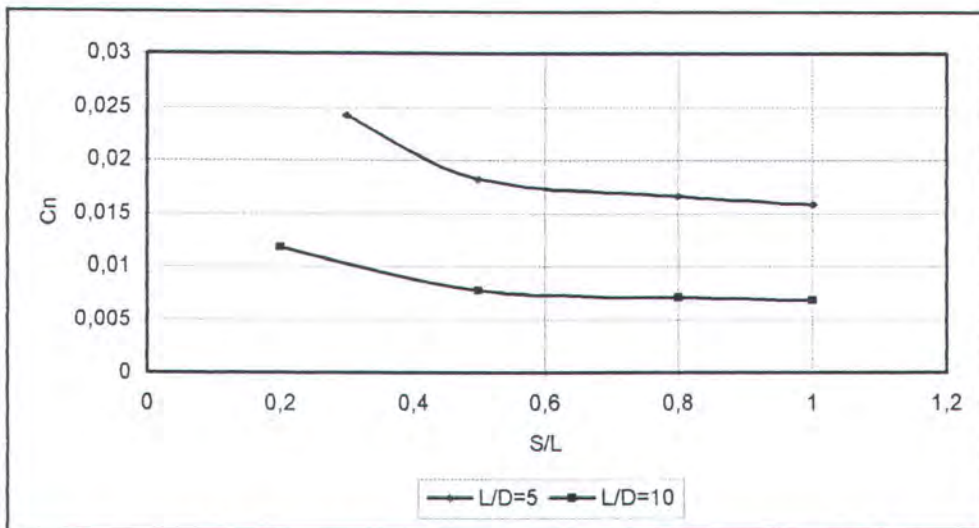
$V$  = Kecepatan benda (m/s)

$A$  = Luas permukaan basah kapal (m<sup>2</sup>)

Besarnya tahanan tekanan ini identik dengan gaya normal yang terjadi pada hasil komputasi. Dari hasil komputasi menunjukkan bahwa untuk model yang lebih gemuk (*bluff*) mempunyai tahanan tekanan/bentuk yang lebih besar dibandingkan dengan model yang lebih langsing.

Pada model kapal katamaran (dua model/ellips digabung menjadi satu) koefisien tahanan bentuk yang terjadi lebih besar harganya jika dibandingkan dengan tahanan bentuk model kapal monohull (single elips). Ketika varisai jarak antar badan kapal (elips) didekatkan, maka tahanan bentuk akan bertambah besar lagi. Hal ini terjadi baik pada model yang gemuk maupun yang langsing.

Untuk perbandingan jarak antara model dengan panjang elips ( $S/L$ ) yang sama, model yang gemuk ( $L/D=5$ ) mempunyai koefisien tahanan bentuk yang lebih besar dibandingkan dengan model yang langsing ( $L/D=10$ ). Adapun besarnya koefisien tahanan bentuk untuk model dengan  $L/D=5$  dan 10 dengan variasi jarak  $S/L = 0.2, 0.5, 0.8$ , dan 1 dapat dilihat pada Gambar 4.17 berikut ini :



Gambar 4.17 : Koefisien Tahanan tekanan pada model  $L/D = 5$  dan 10

Dari harga koefisien tahanan bentuk di atas, ternyata koefisien tahanan bentuk untuk model kapal katamaran lebih kecil harganya dibandingkan dengan 2 kali koefisien tahanan bentuk model kapal monohull.

#### 4.1.3.2. Tahanan Gesek

Besarnya tahanan gesek kapal dirumuskan sebagai berikut :

$$F_f = \frac{1}{2} \rho C_f V^2 S$$

dimana

$F_f$  = Gaya/tahanan tekanan (kN)

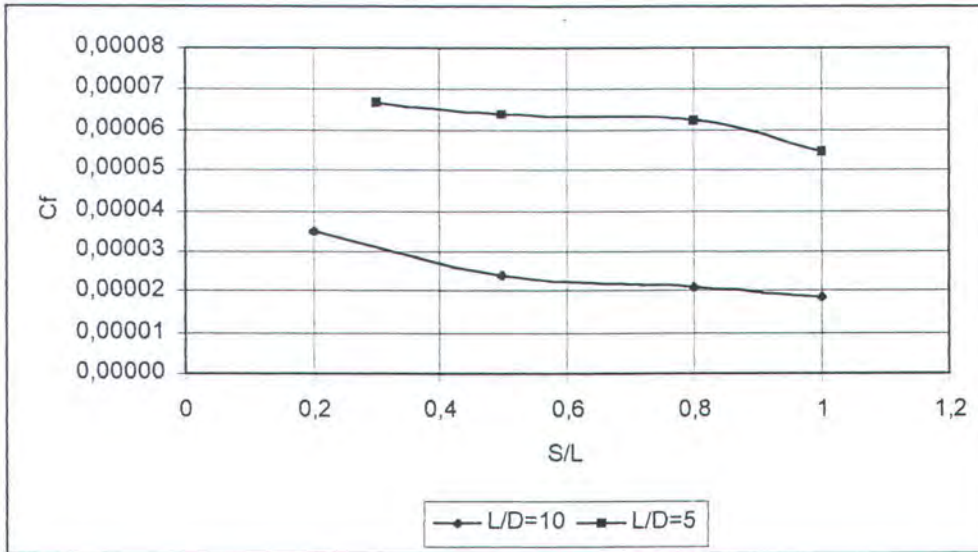
$C_f$  = Koefisien tahanan gesek

$\rho$  = Density ( $\text{ton/m}^3$ )

$v$  = Kecepatan benda (m/s)



Besarnya tahanan gesek adalah identik dengan gaya tangential yang terjadi pada hasil komputasi. Adapun besarnya koefisien tahanan gesek adalah sebagai berikut :



Gambar 4.18 : Koefisien tahanan gesek model  $L/D=5$  dan 10

Untuk benda-benda yang lebih gemuk seharusnya koefisien tahanan gesek yang terjadi lebih kecil dibandingkan dengan benda/model yang lebih langsing. Tetapi dari hasil komputasi menunjukkan hal yang sebaliknya. Hal ini terjadi karena kurangnya jumlah *cell* yang dipakai terutama pada daerah yang kritis yaitu di ujung-ujung model sehingga hasil perhitungan tidak akurat.

Seperti halnya tahanan bentuk, pada tahanan gesek ini ketika badan kapal di dekatkan maka koefisien tahanan gesek yang terjadi akan bertambah besar. Semakin badan kapal didekatkan semakin besar penambahan koefisien tahanan geseknya. Harga koefisien tahanan gesek dapat dilihat pada tabel 4.1.

Koefisien tahanan gesek untuk model kapal katamaran ternyata lebih kecil dibandingkan dengan jumlah 2 koefisien tahanan model kapal monohull. Ini terjadi baik pada model yang gemuk maupun yang langsing.

## 4.2 Validasi Hasil

### 4.2.1 Tekanan

Sebagaimana sebuah benda yang mempunyai kecepatan dan berada di suatu fluida yang mempunyai viskositas maka pada benda tersebut akan mengalami tekanan yang berbeda di sekeliling benda tersebut. Pada bagian depan tekanan yang terjadi akan besar, kemudian mengecil di sepanjang benda tersebut dan membesar lagi di bagian belakang benda. Menurut Fox dan McDonald (1976), besarnya tekanan di bagian depan model lebih besar dibandingkan dengan tekanan di bagian belakang model.

Dalam penelitian ini hal yang sama telah terjadi, dimana tekanan di bagian depan benda lebih besar harganya dibandingkan dengan tekanan di bagian belakang.

### 4.2.2. Kecepatan

Akibat adanya dua badan kapal yang berdekatan maka kecepatan aliran di antara badan kapal kapal tersebut akan ikut terpengaruh. Apabila jarak antara badan kapal semakin dekat maka prosentase peningkatan kecepatan aliran fluida akan membesar jika dibandingkan dengan kecepatan awal benda tersebut. Hal ini sesuai dengan hukum kontinuitas, kecepatan yang terjadi pada suatu daerah yang tertutup tergantung dari luasan di daerah tersebut. Jika daerah diantara dua badan kapal tersebut dianggap sebagai daerah yang tertutup maka kecepatan yang terjadi akan dipengaruhi oleh luasan daerah antara badan kapal.

Pada kapal katamaran kecepatan aliran fluida di sisi dalam badan kapal terlihat berbeda dengan kecepatan aliran fluida di sisi luar badan kapal. Apabila jarak antara badan kapal semakin dekat maka kecepatan disisi dalam badan kapal akan meningkat. Sedangkan kecepatan di sisi luar badan kapal tidak menampakkan perubahan yang berarti jika badan kapal didekatkan.



4.2.3. Tahanan

Menurut Prandtl (1921) besarnya angka Reynolds yang terjadi pada sebuah benda akan mempengaruhi tahanan yang terjadi. Besarnya tahanan yang terjadi pada aliran turbulen didefinisikan sebagai berikut :

$C_f = 0.027 \times Re^{-1/7}$   
 $C_n = 0.031 \times Re^{-1/7}$

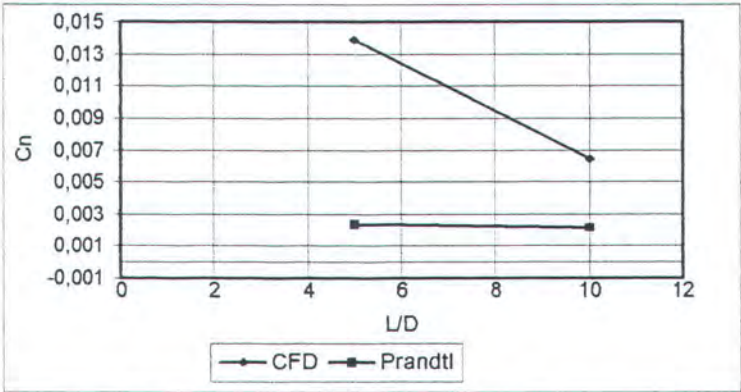
Dimana

- $C_n$  = koefisien tahanan tekanan
- $C_f$  = koefisien tahanan gesek
- $Re$  = angka Reynolds

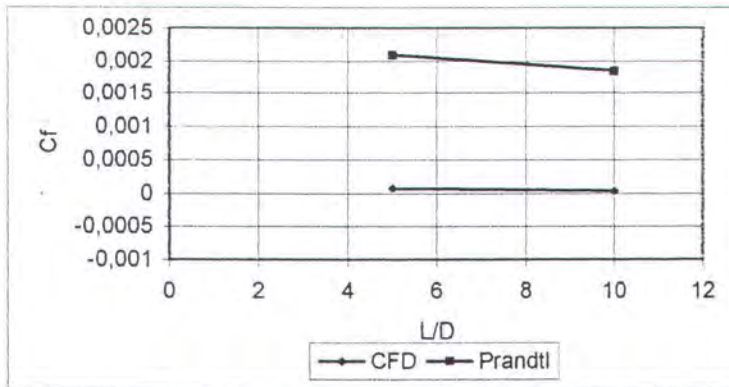
S/L	CFD		Prandtl	
	$C_n \times 10^{-3}$	$C_f \times 10^{-3}$	$C_n \times 10^{-3}$	$C_f \times 10^{-3}$
5	13,9	0,079	2,395	2,086
10	6,42	0,033	2,125	1,851

Tabel 4.2 : Koefisien tahanan Prandtl dan CFD

Adapun grafik tekanan koefisien tahanan yang terjadi dari teori prandtl dan perhitungan CFD untuk L/D=5 dan 10 adalah sebagai berikut :



Gambar 4.19 : Koefisien tahanan tekanan Prandtl dan CFD



Gambar 4.20 : Koefisien tahanan gesek Prandtl dan CFD

Besarnya koefisien tahanan gesek dan koefisien tahanan tekanan yang terjadi dari hasil komputasi dengan teori dari Prandtl menunjukkan hasil yang berbeda. Untuk koefisien tahanan gesek ( $C_f$ ) grafik yang terjadi menunjukkan kecenderungan yang sama. Tetapi untuk koefisien bentuk ( $C_n$ ), grafik yang terjadi tidak menunjukkan kecenderungan yang sama dengan teori Prandtl. Hal ini dimungkinkan karena kurangnya jumlah *cell* yang dipakai terutama di daerah-daerah kritis di ujung-ujung model.

Pada model dengan harga  $L/D = 5$  mempunyai bentuk benda yang lebih gemuk sehingga membutuhkan jumlah *cell* yang lebih banyak, terutama di bagian ujung yang mempunyai perubahan *pressure gradient* yang besar. Karena jumlah *cell* yang digunakan pada proses komputasi kurang banyak maka perubahan *pressure gradient* yang cepat tersebut tidak dapat terekam oleh program CFD sehingga koefisien tahanan bentuk yang terjadi tidak sama dengan teori Prandtl. Hal yang berbeda terjadi pada model dengan  $L/D = 10$ , dimana bentuk benda relatif lebih ramping sehingga jumlah *cell* yang dibutuhkan tidak terlalu banyak maka perubahan *pressure gradient* di ujung-ujung model dapat terekam oleh program CFD.



*“Dan Allah telah berjanji kepada orang-orang yang beriman diantara kamu dan mengerjakan amal-amal yang shaleh bahwa Dia sungguh-sungguh akan menjadikan mereka berkuasa di bumi, sebagaimana Dia telah menjadikan orang-orang yang sebelum mereka berkuasa, dan sungguh Dia akan meneguhkan bagi mereka agama yang telah diridhai-Nya untuk mereka, dan Dia benar-benar akan menukar (keadaan) mereka, sesudah mereka berada dalam ketakutan menjadi amat sentosa”*

(QS. An Nuur : 55)

## **BAB 5**

### **PENUTUP**



## **BAB 5**

### **PENUTUP**

#### **5.1 Kesimpulan**

##### **1. Boundary Layer**

Untuk benda-benda yang mempunyai perbandingan panjang dan lebar yang besar, maka lapisan batas yang terjadi akan semakin tipis. Hal yang sama terjadi pada benda yang memiliki angka Reynolds yang tinggi. Jadi pada gerakan benda yang mempunyai bentuk sempit dan panjang serta permukaan yang rata, lapisan batas yang timbul akan tipis. Hal sebaliknya terjadi pada benda yang mempunyai perbandingan panjang dan lebar yang kecil dan mempunyai angka Reynolds yang rendah.

##### **2. Kecepatan dan Tekanan**

Aliran fluida yang melewati sebuah benda akan mengalami penurunan dan kenaikan kecepatan. Di bagian depan dari benda terjadi penurunan kecepatan kemudian akan naik sepanjang badan benda dan akan turun lagi di bagian belakang benda. Di bagian belakang benda terjadi penurunan kecepatan aliran fluida bahkan mendekati nol, sehingga akan menimbulkan ulekan akibat adanya aliran yang tidak memiliki kecepatan. Adanya perbedaan kecepatan ini menyebabkan distribusi tekanan yang tidak merata. Pada bagian depan benda mengalami tekanan yang tinggi, kemudian turun di sepanjang badan benda dan akan naik lagi di bagian belakang benda.

Bentuk suatu penampang benda yang terkena aliran fluida mempengaruhi terjadinya ulekan pada daerah belakang benda. Benda yang memiliki penampang yang lebih gemuk akan menyulitkan aliran fluida untuk melewatinya. Seolah-olah benda tersebut akan akan melawan aliran fluida sehingga akan menyebabkan terjadinya pemisahan aliran dan terjadinya ulekan semakin jelas terlihat. Sebaliknya untuk benda yang mempunyai penampang yang ramping memudahkan aliran untuk mengalir.



- Kecepatan aliran diantara 2 Hull

Pada model katamaran dengan variasi jarak antar hull tertentu, kecepatan aliran diantara badan kapal/ellips menunjukkan adanya peningkatan. Untuk variasi jarak antar hull ( $S/L$ ) yang sama pada model yang lebih gemuk ( $L/D=5$ ) prosentase peningkatan kecepatan aliran diantara 2 hull lebih besar dibandingkan dengan model yang lebih langsing ( $L/D=10$ ). Besarnya prosentase peningkatan kecepatan aliran fluida diantara badan kapal adalah sebagai berikut :

L/D	S/L	% peningkatan
5	0.3	75.525
	0.5	44.726
	0.8	25.697
	1	21.801

L/D	S/L	% peningkatan
10	0.2	51.11
	0.5	17.454
	0.8	11.334
	1	8.879

Tabel 5.1 : Prosentase peningkatan kecepatan di antara hull

- Kecepatan di Sisi Hull

Kecepatan aliran di sisi luar hull menunjukkan adanya suatu kecenderungan yang hampir sama ketika badan kapal didekatkan baik untuk model dengan harga  $L/D=5$  maupun model dengan  $L/D=10$ . Kecepatan di sisi dalam hull untuk model dengan  $L/D=5$  juga mempunyai kecenderungan yang hampir sama kecuali pada variasi jarak antar hull ( $S/L$ ) = 0.3 yang menunjukkan adanya fluktuasi yang cukup signifikan. Untuk model dengan  $L/D=10$  kecepatan aliran yang terjadi mempunyai kecenderungan yang sama tetapi menunjukkan adanya selisih perbedaan.

- Kecepatan pada Model  $L/D=5$  dan 10

Pada model katamaran dengan harga  $L/D=5$ , kecepatan di sisi dalam menunjukkan kecenderungan yang serupa ketika badan kapal didekatkan dengan berbagai variasi ( $S/L$ ), namun terlihat adanya selisih perbedaan terutama

pada variasi jarak antar hull ( $S/L$ ) = 0.3. Sedangkan kecepatan di sisi luar hull tidak menunjukkan hal yang berbeda.

Pada model katamaran dengan harga  $L/D=10$ , kecepatan di sisi luar menunjukkan kecenderungan yang hampir sama meskipun tidak seirama pada model dengan harga  $L/D=5$ . Kecepatan di sisi dalam hull terlihat adanya perbedaan pada variasi jarak  $S/L=0.2$ . hull.

- Tekanan di Sisi Hull

Ketika badan kapal didekatkan, koefisien tekanan di sisi luar hull untuk model yang gemuk ( $L/D=5$ ) dan model yang langsing ( $L/D=10$ ) mempunyai kecenderungan yang serupa, perbedaan yang terjadi relatif kecil.

Namun koefisien tekanan di sisi dalam hull ketika badan kapal didekatkan menunjukkan adanya suatu perbedaan yang cukup signifikan. Untuk model yang gemuk ( $L/D=5$ ) perbedaan cukup besar terjadi pada variasi jarak antar hull ( $S/L$ ) = 0,3 dan 0,5. Untuk model yang langsing ( $L/D=10$ ) perbedaan cukup besar terjadi pada variasi jarak antar badan kapal ( $S/L$ ) = 0,2.

- Tekanan pada Model  $L/D=5$  dan 10

Pada model katamaran dengan harga  $L/D=5$ , koefisien tekanan di sisi dalam hull mengalami perubahan kecenderungan yang cukup besar ketika badan kapal didekatkan. Hal ini terjadi pada variasi jarak antar hull antar badan kapal ( $S/L$ ) = 0,3 & 0,5. Pada variasi jarak  $S/L$  = 0,8 dan 1, koefisien tekanan tidak mengalami perbedaan yang besar.

Pada model yang langsing juga menunjukkan kecenderungan yang serupa. Koefisien tekanan di sisi luar badan kapal mengalami perubahan ketika badan kapal didekatkan. Tetapi perubahan cukup besar terjadi pada variasi jarak antar hull ( $S/L$ )=0,2. Seperti halnya pada model yang lebih gemuk, koefisien tekanan di sisi luar menunjukkan kecenderungan yang hampir sama, selisih perbedaannya relatif kecil



### 3. Tahanan

Tahanan yang terjadi dari suatu kapal katamaran menunjukkan bahwa semakin jauh jarak antara badan kapal semakin kecil tahanan yang terjadi dan mendekati besarnya koefisien tahanan model kapal monohull. Hasil komputasi menunjukkan bahwa pada jarak antara dua badan kapal  $(S/L)=1$ , besarnya koefisien tahanan kapal katamaran hampir sama dengan koefisien tahanan kapal monohull. Hasil perhitungan ini kurang akurat, karena dari perhitungan yang telah dilakukan menunjukkan bahwa besarnya koefisien tahanan kapal katamaran mempunyai harga yang relatif sama dengan koefisien tahanan kapal monohull pada jarak  $S/L \approx 0.6$  (Utama, 1999). Hal ini terjadi karena kurangnya jumlah *cell* yang digunakan dalam proses komputasi.

Hasil perhitungan menunjukkan bahwa besarnya koefisien tahanan yang terjadi pada kapal katamaran lebih kecil harganya bila dibandingkan dengan jumlah 2 tahanan badan kapal dengan  $L/D$  yang sama.

- Tahanan Tekanan

Pada benda-benda yang mempunyai geometri yang lebih gemuk, ulekan yang terjadi di belakang benda akibat adanya partikel fluida yang kehilangan kecepatan akan jelas terlihat. Ulekan yang terjadi pada model dengan harga  $L/D=5$  di bagian belakang akan jelas terlihat dibandingkan pada model dengan harga  $L/D=10$ .

Pada model katamaran yang lebih gemuk akan mempunyai koefisien tahanan tekanan lebih besar jika dibandingkan dengan model katamaran yang lebih langsing. Koefisien tahanan tekanan yang terjadi pada model katamaran lebih besar harganya jika dibandingkan dengan koefisien tahanan tekanan model kapal monohull. Ketika variasi jarak antar badan kapal didekatkan, koefisien tahanan bentuk bertambah besar. Hal ini terjadi pada model katamaran yang gemuk maupun yang langsing.

Untuk perbandingan jarak antar model dengan panjang elips  $(S/L)$  yang sama, model katamaran yang gemuk mempunyai koefisien tahanan tekanan lebih besar dibandingkan dengan model katamaran yang langsing. Hasil

komputasi menunjukkan tahanan tekanan model katamaran lebih kecil harganya dibandingkan dengan 2 kali koefisien tahanan tekanan model kapal monohull.

- Tahanan Gesek

Seperti halnya tahanan bentuk, pada tahanan gesek ketika badan kapal kapal didekatkan maka koefisien tahanan gesek yang terjadi akan bertambah besar. Semakin dekat badan kapal didekatkan, semakin besar koefisien tahanan gesek yang terjadi. Koefisien tahanan gesek untuk model katamaran ternyata lebih kecil dibandingkan dengan jumlah 2 koefisien tahanan gesek model kapal monohull. Hal ini terjadi pada model katamaran yang gemuk maupun yang langsing.

## 5.2 Saran

Dari hasil studi yang dilakukan ditunjukkan bahwa penggunaan metode CFD membantu dalam menyelesaikan permasalahan aliran fluida. Namun demikian terdapat beberapa kendala yang dihadapi sehubungan dengan pengetahuan penulis yang masih sedikit tentang CFD dan software CFX. Adapun kendala-kendala yang dihadapi antara lain dalam kaitannya dengan :

1. Pendeskripsian model.
2. Penentuan jumlah/bentuk surface yang optimum.
3. Penentuan jumlah *cell* yang optimum terutama pada daerah-daerah yang kritis, misal ujung depan (leading edge) dan ujung belakang (trailing edge) model.
4. Proses meshing.
5. Sedikitnya literatur yang dapat membantu dalam memahami software CFX.



*“Dan perintahkanlah kepada keluargamu mendirikan shalat dan bersabarlah kamu dalam mengerjakannya. Kami tidak meminta rezki kepadamu, Kamilah yang memberi rezki kepadamu. Dan akibat (yang baik) itu adalah bagi orang yang bertaqwa”.*

**(QS. Thaahaa : 132) .**

## **DAFTAR PUSTAKA**

## DAFTAR PUSTAKA

1. AEA Technology, "Using CFX-5 for Unix and Windows NT", 1996.
2. Bambang R, "Kajian Teknis Konsep Desain Alat Transportasi Kanal Lahan Gambut", BPPT, Jakarta, 1998.
3. Harvald, Sv., Aa, "Resistance and Propulsion of Ship", John Wiley & Sons, Inc, 1983.
4. Malalasekera, W and Veersted, "Computational Fluid Dynamics", Addison Wesley Longman Limited, 1995.
5. Newman, J.N, "Marine Hydrodynamics", The MIT Press, London, 1986.
6. Pratikto, W.A, "Hidrodinamika Dasar", ITS, Surabaya, 1988.
7. Schlichting, H, "Boundary Layer Theory", McGraw-Hill, Inc, New York, 1978.
8. Siswanto, Digul, "Tahanan Kapal I & II", ITS, Surabaya, 1986.
9. Todd, F.H, "The Fundamentals of Ship Form", *Trans IME*, London, 1945.
10. Utama I.K.A.P., "Investigation of The Viscous Resistance Components of Catamaran Forms", Departement. of Ship Science Faculty of Engineering and Applied Science, Southampton University, Southampton, 1999.
11. W. Fox, Robert and T. McDonald, Alan, "Introduction to Fluid Mechanics", John Wiley & Sons, Inc, 1976.
12. White, M. Frank, "Fluids Mechanics", McGraw-Hill, Inc, New York, 1979.



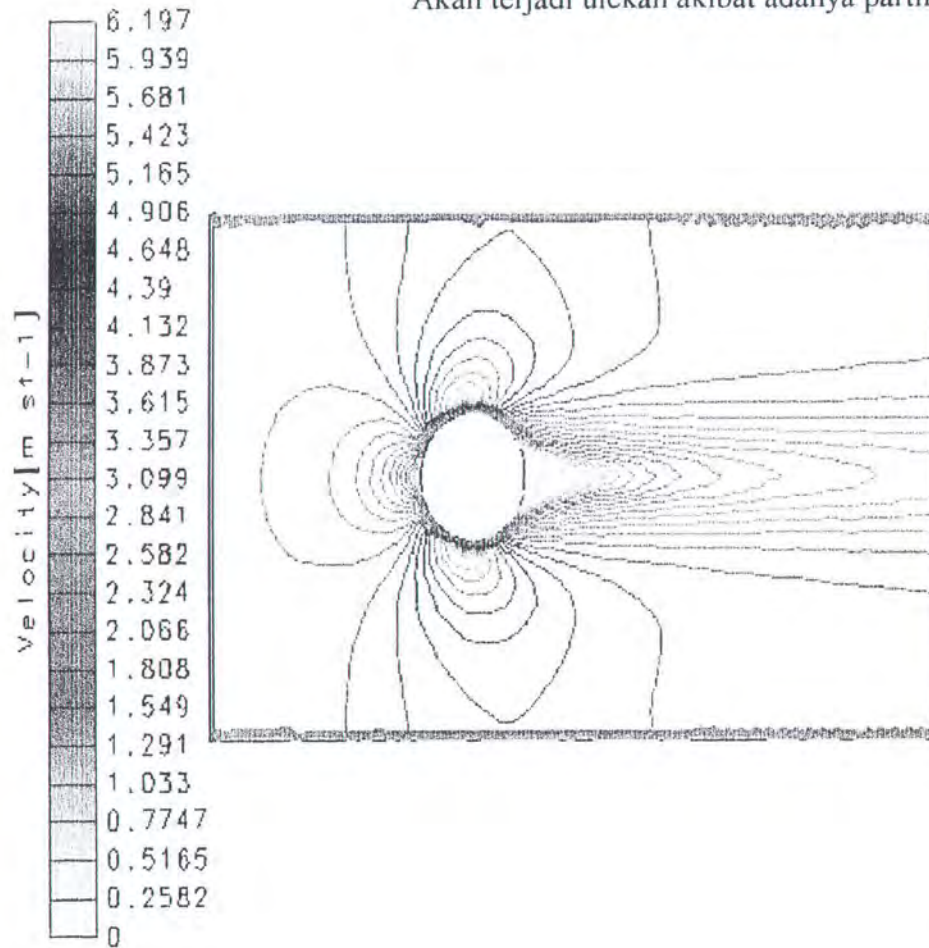
*Dari Abu Hurairah ra berkata, “Rasulullah SAW bersabda, apabila umatku sudah mengagungkan dunia, maka akan tercabut darinya kehebatan Islam, dan jika mereka meninggalkan amar ma’ruf nahi mungkar, maka diharamkan (atas mereka) keberkahan wahyu, dan apabila umatku saling menghina satu sama lain, maka jatuhlah mereka dari pandangan Allah”.*

*(H.R. Hakim, Tirmidzi )*

**LAMPIRAN**

# LAMPIRAN 1a : Aliran yang terjadi pada sebuah lingkaran

Bentuk benda yang lebih bluff/gemuk, maka di bagian belakang benda tersebut  
Akan terjadi ulekan akibat adanya partikel fluida yang kehilangan kecepatannya.

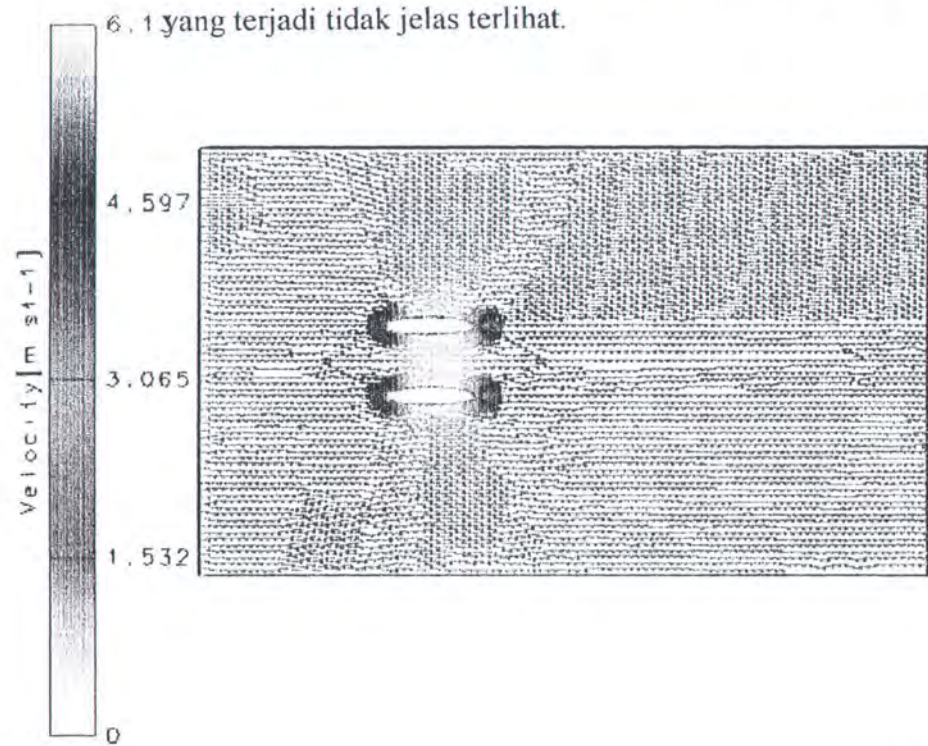


CFX



# LAMPIRAN 1b : Aliran yang terjadi pada sebuah model dengan $L/D=5$

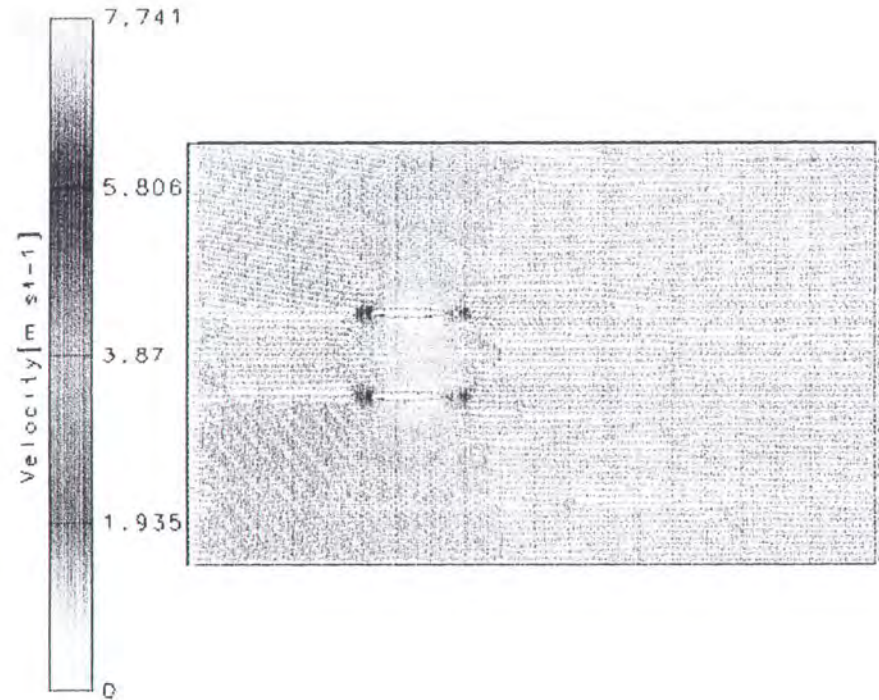
Bentuk benda dengan  $L/D=5$  di belakang benda masih terjadi ulekan aliran. Kurangnya jumlah cell yang digunakan dalam proses komputasi menyebabkan perubahan pressure gradient yang cepat tidak dapat terekam oleh CFX-5.2, maka dalam visualisasi ulekan



CFX

LAMPIRAN 1b : Aliran yang terjadi pada sebuah model dengan  $L/D=10$

Ulekan tidak tampak pada bentuk model dengan  $L/D=5$  disebabkan benda mempunyai bentuk yang ramping sehingga aliran air mudah diteruskan oleh benda.



CFX



LAMPIRAN 2: Besarnya koefisien aliran ( $y^+$ ) untuk masing-masing model

$$y^+ = \frac{\Delta y_\rho}{\nu} \sqrt{\frac{\tau_w}{\rho}}$$

L/D	S/L	$y^+$
5	Monohull	394
	0.3	298
	0.5	483
	0.8	346
	1	309
10	Monohull	545
	0.2	480
	0.5	395
	0.8	387
	1	425

LAMPIRAN 3 : Data kecepatan dan tekanan sisi dalam dan luar hull pada model dengan L/D=10

S/L = 1

Titik	kecepatan m/s (dalam)	kecepatan m/s (luar)	Tekanan(Pa) (dalam)	Tekanan (Pa) (luar)	Cp (dalam)	Cp (luar)
-20,000	1,089	1,138	1,28E+05	1,27E+05	1,0844178	1,04898
-15,547	3,663	3,124	9,90E+04	9,87E+04	-0,0936832	-0,10385
-12,469	3,211	3,709	9,74E+04	9,75E+04	-0,1581767	-0,15457
-6,263	3,841	3,252	9,55E+04	9,60E+04	-0,2355095	-0,21383
0,000	2,583	2,539	9,49E+04	9,58E+04	-0,2622998	-0,22548
6,260	2,576	3,795	9,47E+04	9,56E+04	-0,2699555	-0,23142
12,462	3,794	1,751	9,48E+04	9,57E+04	-0,2629514	-0,22873
15,547	3,244	3,205	9,44E+04	9,52E+04	-0,279172	-0,24626
20,000	0,671	0,598	1,12E+05	1,13E+05	0,4538045	0,473935

S/L = 0.8

Titik	kecepatan m/s (dalam)	kecepatan m/s (luar)	Tekanan (Pa) (dalam)	Tekanan (Pa) (luar)	Cp (dalam)	Cp (luar)
-20,000	1,063	1,074	1,27E+05	1,27E+05	1,0600915	1,050258
-15,687	3,649	3,125	9,90E+04	9,88E+04	-0,0947096	-0,10291
-12,583	3,212	3,712	9,72E+04	9,75E+04	-0,166261	-0,15626
-6,313	3,332	3,786	9,49E+04	9,59E+04	-0,2585457	-0,21843
0,000	2,618	2,539	9,41E+04	9,56E+04	-0,2943799	-0,23323
6,309	1,900	3,258	9,39E+04	9,54E+04	-0,3000364	-0,23828
12,576	3,835	3,223	9,41E+04	9,54E+04	-0,2926368	-0,24078
15,679	3,264	3,715	9,35E+04	9,46E+04	-0,3171137	-0,27158
20,000	0,581	0,704	1,12E+05	1,13E+05	0,4548831	0,464712



S/L=0.5

Titik	kecepatan m/s (dalam)	kecepatan m/s (luar)	Tekanan (Pa) (dalam)	Tekanan (Pa) (luar)	Cp (dalam)	Cp (luar)
-20,000	1,213	1,051	1,28E+05	1,27E+05	1,0690251	1,04944
-15,625	3,160	3,164	9,88E+04	9,83E+04	-0,102036	-0,12347
-12,529	3,812	3,205	9,68E+04	9,70E+04	-0,1839748	-0,17416
-6,289	3,443	3,264	9,27E+04	9,56E+04	-0,3506924	-0,23032
0,000	2,744	2,545	9,10E+04	9,55E+04	-0,4178746	-0,23549
6,286	3,507	3,266	9,07E+04	9,54E+04	-0,4317565	-0,24161
12,522	3,406	4,161	9,17E+04	9,53E+04	-0,3898079	-0,24564
15,616	2,626	2,514	9,19E+04	9,48E+04	-0,380554	-0,26398
20,000	0,536	0,717	1,13E+05	1,12E+05	0,4681106	0,454155

S/L = 0.2

Titik	Kecepatan m/s (dalam)	Kecepatan m/s (luar)	Tekanan (Pa) (dalam)	Tekanan (Pa) (luar)	Cp (dalam)	Cp (luar)
-20,000	1,100	1,031	1,27E+05	1,26E+05	1,0285368	1,017361
-15,618	3,196	3,186	1,01E+05	9,71E+04	-0,0161253	-0,17032
-12,523	3,505	3,230	9,42E+04	9,60E+04	-0,287406	-0,21444
-6,287	4,151	3,286	7,76E+04	9,52E+04	-0,9638552	-0,24843
0,000	3,518	2,562	6,75E+04	9,50E+04	-1,3757074	-0,2544
6,283	4,374	3,286	6,74E+04	9,49E+04	-1,3795739	-0,26185
12,516	3,822	3,256	7,69E+04	9,48E+04	-0,9911132	-0,26438
15,609	3,473	3,260	8,21E+04	9,42E+04	-0,7804062	-0,29056
20,000	0,562	0,730	1,11E+05	1,11E+05	0,3909557	0,378603

L/D=10

Titik	kecepatan	Tekanan	Cp
-20,000	1,064	126734,400	1,03517901
-15,604	3,630	99127,700	-0,0884125
-12,511	3,167	97916,510	-0,1377079
-6,281	3,232	96428,810	-0,1982572
0,000	2,524	95963,440	-0,2171978
6,278	3,240	95892,550	-0,220083
12,504	3,203	95704,410	-0,2277403
15,604	3,194	95120,400	-0,2515095
20,000	0,707	113184,600	0,48370272

LAMPIRAN 4 : Data kecepatan dan tekanan sisi dalam dan luar pada model dengan  $L/D=5$

$S/L=1$

Titik	Kecepatan m/s (dalam)	kecepatan m/s (luar)	Tekanan (Pa) (dalam)	Tekanan (Pa) (luar)	Cp (dalam)	Cp (luar)
-10,000	0,505	0,526	114095,700	1,14E+05	1,076029	1,073515
-8,038	2,216	2,612	98156,950	9,76E+04	-0,26431	-0,30749
-6,327	2,373	2,362	96876,000	9,71E+04	-0,37203	-0,35179
-4,885	2,827	2,402	96272,900	9,65E+04	-0,42274	-0,39983
-3,270	2,897	2,427	95714,000	9,58E+04	-0,46974	-0,46086
0,000	1,980	1,905	94585,660	9,57E+04	-0,56463	-0,47049
3,269	2,535	2,431	94157,500	9,58E+04	-0,60063	-0,45947
4,883	2,903	2,427	93756,470	9,54E+04	-0,63436	-0,49386
6,324	2,427	2,795	93870,530	9,47E+04	-0,62477	-0,55394
8,038	2,236	2,593	95249,540	9,56E+04	-0,5088	-0,48348
10,000	0,191	0,242	107347,800	1,08E+05	0,508578	0,523311

$S/L=0.8$

Titik	Kecepatan m/s (dalam)	kecepatan m/s (luar)	Tekanan (Pa) (dalam)	Tekanan (Pa) (luar)	Cp (dalam)	Cp (luar)
-10,000	0,365	0,429	1,14E+05	1,14E+05	1,03E+00	1,06E+00
-8,230	2,574	2,590	9,82E+04	9,76E+04	-2,61E-01	-3,08E-01
-6,150	2,431	2,371	9,64E+04	9,69E+04	-4,14E-01	-3,69E-01
-4,707	2,501	2,401	9,58E+04	9,67E+04	-4,66E-01	-3,89E-01
-3,161	2,560	2,427	9,49E+04	9,61E+04	-5,40E-01	-4,36E-01
0,000	2,051	1,917	9,34E+04	9,54E+04	-6,61E-01	-4,98E-01
3,160	2,604	2,438	9,31E+04	9,56E+04	-6,92E-01	-4,80E-01
4,706	2,560	2,420	9,30E+04	9,54E+04	-7,01E-01	-4,93E-01
6,148	2,509	2,402	9,27E+04	9,48E+04	-7,23E-01	-5,50E-01
8,229	2,617	2,572	9,50E+04	9,56E+04	-5,27E-01	-4,79E-01
10,000	0,232	0,201	1,07E+05	1,07E+05	5,10E-01	5,17E-01



S/L=0,5

Titik	Kecepatan m/s (dalam)	kecepatan m/s (luar)	Tekanan (Pa) (dalam)	Tekanan (Pa) (dalam)	Cp (dalam)	Cp (luar)
-10,000	0,430	0,456	1,14E+05	1,14E+05	1,047825	1,067982
-8,231	2,613	2,619	9,78E+04	9,73E+04	-0,29063	-0,3341
-6,156	2,018	2,398	9,48E+04	9,66E+04	-0,54963	-0,39524
-4,714	3,182	2,427	9,25E+04	9,65E+04	-0,74254	-0,40701
-3,165	2,899	2,453	9,04E+04	9,60E+04	-0,91872	-0,44738
0,000	2,356	1,929	8,73E+04	9,54E+04	-1,17562	-0,49817
3,164	2,914	2,462	8,74E+04	9,53E+04	-1,17243	-0,50876
4,712	2,799	2,839	8,88E+04	9,51E+04	-1,05116	-0,5239
6,154	2,674	1,884	8,98E+04	9,44E+04	-0,96707	-0,58344
8,230	2,636	2,592	9,39E+04	9,53E+04	-0,62229	-0,50456
10,000	0,181	0,276	1,07E+05	1,07E+05	0,47933	0,496149

S/L=0,3

Titik	Kecepatan m/s (dalam)	kecepatan m/s (luar)	Tekanan (Pa) (dalam)	Tekanan (Pa) (dalam)	Cp (dalam)	Cp (luar)
-10,000	0,415	0,497	112914,000	1,1263E+05	0,976657	0,952816
-8,270	1,922	2,748	102970,200	9,5241E+04	0,140452	-0,50952
-6,433	2,455	2,875	97141,930	9,4998E+04	-0,34966	-0,52995
-4,987	2,718	2,489	93552,380	9,5104E+04	-0,65152	-0,52101
-3,270	2,897	2,509	88621,020	9,4803E+04	-1,06621	-0,54633
0,000	4,223	1,973	75264,940	9,4142E+04	-2,18937	-0,60197
3,418	3,311	2,520	76298,210	9,3982E+04	-2,10248	-0,61537
4,986	2,927	2,502	81242,860	9,3845E+04	-1,68667	-0,62689
6,430	2,559	2,898	87215,770	9,3427E+04	-1,18439	-0,66208
8,269	2,184	2,746	96816,690	9,3415E+04	-0,37702	-0,66306
10,000	0,226	0,148	106438,700	1,0567E+05	0,432129	0,367159

L/D=5

Titik	Kecepatan(m/s)	Tekanan (pa)	Cp
-10,000	0,461	113949,500	1,06373504
-8,214	2,509	98568,130	-0,2297313
-6,241	2,683	97740,850	-0,2992998
-4,831	2,334	97515,250	-0,3182712
-3,233	2,365	96925,940	-0,367828
0,000	1,874	96224,620	-0,4268042
3,232	2,394	96073,260	-0,4395325
4,829	2,761	95706,460	-0,4703778
6,239	2,338	95413,080	-0,4950491
8,213	2,496	96412,650	-0,4109922
10,000	0,210	107731,000	0,54080241

LAMPIRAN 5: Jenis Gaya yang bekerja pada model

L/D	S/L	Jenis Gaya	
		Normal Force (x 10 <sup>3</sup> N)	Tangential Force(x10 <sup>3</sup> N)
5	monohull	10.393	0.0588
	1	23.664	0.082
	0,8	24.72	0.0931
	0,5	27.291	0.0987
	0,3	36.149	0.112
10	monohull	19.823	0.096
	1	42.295	0.116
	0,8	43.481	0.132
	0,5	47.894	0.148
	0.2	72.852	0.214



LAMPIRAN 5: Hasil running program CFX-5 untuk model dengan  $L/D=10$   $S/L=0.5$

This run of the CFX-5 Solver started at 01:10:37 on 27 Oct 2000  
by user eko on WORK1 (intel\_i386\_winnt4.0) using the command:

C:/CFX-5/bin/5.3/cfx5solve.exe -NoConsole -solver C:/CFX-5/bin/5.3/winnt/solver.exe  
def C://1BARULD10SL0.5.def -fullname 1BARULD10SL0.5\_012

CFX-5 Solver 5.3

Version 1.0.0-141

Feb 03, 1999

Copyright 1998 AEA Technology plc. All rights reserved.

Job Information

Run mode: sequential run

Host computer: WORK1

Job started: Fri Oct 27 13:10:37 2000

Total number of Vertices, Elements, and Faces

Total number of Vertices	=	26884
Total number of Elements	=	105250
Total number of Faces	=	35322

Memory Usage Information

Allocated storage in:	WORDS,	WORDS/NODE:
-----------------------	--------	-------------

Real	11610141	431.0
Integer	2788801	103.0
Character	200000	7.0
Logical	10000	0.0
Double	7000	0.0

Note: allocated storage generally exceeds the required storage

Model Details

Domain Name : ld10Sl0.5  
Simulation Type : Steady State  
Turbulence Model : k-epsilon  
Heat Transfer Model : Isothermal  
Domain Temperature = 1.5000000E+01 C  
Buoyancy Model : Non-Buoyant  
Reference Pressure Value = 1.0130001E+05 Pa  
Number of additional variables = 0

-----+  
| Solution Algorithm |  
-----+-----+

Maximum No. Of Timesteps = 100  
RMS normal for residual  
Target Residual = 1.0000000E-04  
Discretisation = 0.0000000E+00  
0.0 = 1st Order, 1.0 = 2nd Order

-----+  
| Expression Language Variables |  
-----+-----+

No Expression Language variables defined

-----+  
| Initial Values |  
-----+-----+

All variables : Default values

-----+  
| Material Properties |  
-----+-----+

Fluid Type : General Fluid  
Density = 9.9990005E+02 kg m<sup>-3</sup>  
Viscosity  
Dynamic Viscosity = 1.7520000E-03 kg m<sup>-1</sup> s<sup>-1</sup>

-----+  
| Boundary Conditions |  
-----+-----+

Boundary Name : BODY  
Boundary Type : WALL  
List of Surfaces : Solid 2.1  
Solid 2.2  
Solid 2.3  
Solid 2.4  
Solid 2.5



Solid 2.6  
Solid 2.7  
Solid 2.8  
Wall Influence On Flow : No Slip (Stationary)  
Wall Roughness : Smooth Wall

Boundary Name : BOTTOM  
Boundary Type : WALL  
List of Surfaces : Solid 2.25  
Solid 2.26  
Solid 2.27  
Solid 2.28  
Solid 2.29  
Solid 2.30  
Solid 2.31  
Solid 2.32  
Solid 2.33  
Solid 2.34  
Remaining 5 surfaces not listed  
Wall Influence On Flow : Free Slip

Boundary Name : IN1  
Boundary Type : INLET  
List of Surfaces : Solid 2.9  
Solid 2.10  
Solid 2.11  
Solid 2.12  
Flow Regime : Subsonic  
Mass and Momentum : Normal Speed in  
Value =  $2.3000000E+01 \text{ ft s}^{-1}$   
Turbulence : Default Intensity and Autocompute Length Scale

Boundary Name : IN2  
Boundary Type : INLET  
List of Surfaces : Solid 2.13  
Solid 2.14  
Solid 2.15  
Solid 2.16  
Solid 2.17  
Solid 2.18  
Solid 2.19  
Solid 2.20  
Flow Regime : Subsonic  
Mass and Momentum : Normal Speed in  
Value =  $0.0000000E+00 \text{ ft s}^{-1}$   
Turbulence : Default Intensity and Autocompute Length Scale

Boundary Name : OUT  
Boundary Type : OPENING  
List of Surfaces : Solid 2.21  
Solid 2.22  
Solid 2.23  
Solid 2.24  
Mass and Momentum : Pressure  
Relative Pressure =  $1.0130001E+05 \text{ Pa}$   
Flow Direction : Normal to Boundary Condition  
Loss Coefficient :  
Turbulence : Default Intensity and Autocompute Length Scale

Boundary Name : TOP  
Boundary Type : WALL  
List of Surfaces : Solid 2.41  
Solid 2.42  
Solid 2.43  
Solid 2.44

```

Solid 2.45
Solid 2.46
Solid 2.47
Solid 2.48
Solid 2.49
Solid 2.50
Remaining      5 surfaces not listed
Wall Influence On Flow : Free Slip

```

```

+-----+
|           Initialization Information           |
+-----+

```

```

+-----+
| Initial value of Pressure-Gradients array is not found in DEF file. |
| Default initial value will be used, which is  0.000000E+00          |
+-----+

```

```

+-----+
|           Average Scale Information           |
+-----+

```

```

Global Length Scale      :      3.856E+01
Density Scale            :      1.000E+03
Dynamic Viscosity Scale  :      1.752E-03
Velocity Scale           :      0.000E+00
Prandtl Number           :      1.752E-03
Cp Scale                 :      1.000E+00
Conductivity Scale       :      1.000E+00

```

```

+-----+
| Code estimated physical timestep =  0.16503E+01                    |
+-----+

```

```

+-----+
|           The Equations Solved in This Calculation           |
+-----+

```

```

Number of equations solved =      6

```

```

U - Mom
V - Mom
W - Mom
P - Mass
K-TurbKE
E-Diss.K

```

```

CFD Solver started: Fri Oct 27 13:10:43 2000

```

```

+-----+
|           Convergence History           |
+-----+
=====

```



=====

TIME STEP = 1      SIMULATION TIME = 1.65E+00      CPU SECONDS = 5.61E+00

=====

Equation	Rate	RMS Res	Max Res	Location	Linear Solution
U - Mom	0.00	1.3E+04	2.9E+05	471	2.3E-03 OK
V - Mom	0.00	1.4E-05	1.2E-03	49	1.3E+06 ok
W - Mom	0.00	3.8E-05	3.5E-03	10242	7.1E+05 ok
P - Mass	0.00	2.2E-03	6.9E-02	10247	10.9 4.0E-02 OK

=====

=====

TIME STEP = 2      SIMULATION TIME = 3.30E+00      CPU SECONDS = 3.07E+01

=====

Equation	Rate	RMS Res	Max Res	Location	Linear Solution
U - Mom	0.00	4.7E-02	4.0E-01	1309	2.6E-03 OK
V - Mom	99.99	6.8E-03	8.2E-02	1312	2.2E-02 OK
W - Mom	99.99	4.5E-03	6.6E-02	1302	5.8E-02 OK
P - Mass	0.14	3.0E-04	9.1E-03	10223	40.6 8.0E-02 OK

=====

=====

TIME STEP = 3      SIMULATION TIME = 4.95E+00      CPU SECONDS = 6.93E+01

=====

Equation	Rate	RMS Res	Max Res	Location	Linear Solution
U - Mom	1.04	4.9E-02	1.4E-01	12889	1.7E-03 OK
V - Mom	0.40	2.7E-03	3.4E-02	1332	4.5E-02 OK
W - Mom	0.49	2.2E-03	3.3E-02	1302	5.4E-02 OK
P - Mass	1.29	3.9E-04	8.8E-03	1146	20.8 9.6E-02 OK

=====

=====

TIME STEP = 4      SIMULATION TIME = 6.60E+00      CPU SECONDS = 9.88E+01

=====

Equation	Rate	RMS Res	Max Res	Location	Linear Solution
U - Mom	0.52	2.5E-02	6.5E-02	12889	8.3E-04 OK
V - Mom	0.46	1.2E-03	1.6E-02	1332	2.1E-02 OK
W - Mom	0.45	1.0E-03	1.7E-02	229	3.3E-02 OK
P - Mass	1.28	5.0E-04	1.1E-02	31	30.7 9.0E-02 OK

=====

=====

TIME STEP = 5      SIMULATION TIME = 8.25E+00      CPU SECONDS = 1.33E+02

=====

Equation	Rate	RMS Res	Max Res	Location	Linear Solution
U - Mom	0.35	8.8E-03	2.4E-02	12888	7.0E-04 OK
V - Mom	0.33	4.1E-04	7.0E-03	1332	1.9E-02 OK
W - Mom	0.44	4.5E-04	7.5E-03	229	2.1E-02 OK
P - Mass	0.79	3.9E-04	7.6E-03	31	30.7 8.0E-02 OK

=====

=====

TIME STEP = 6      SIMULATION TIME = 9.90E+00      CPU SECONDS = 1.67E+02

=====

Equation	Rate	RMS Res	Max Res	Location	Linear Solution
U - Mom	0.33	2.9E-03	8.9E-03	12888	7.6E-04 OK
V - Mom	0.45	1.8E-04	2.9E-03	1332	1.5E-02 OK
W - Mom	0.43	1.9E-04	3.2E-03	229	1.7E-02 OK
P - Mass	0.56	2.2E-04	3.7E-03	10016	30.7 7.9E-02 OK
K-TurbKE	0.00	6.6E-03	9.2E-02	18736	14.0 4.2E-03 OK

=====



E-Diss.K	0.00	4.9E-02	8.4E-01	10223	5.3	2.1E-03	OK
----------	------	---------	---------	-------	-----	---------	----

=====

TIME STEP = 7      SIMULATION TIME = 1.16E+01      CPU SECONDS = 2.14E+02

Equation	Rate	RMS Res	Max Res	Location	Linear Solution		
U - Mom	0.42	1.2E-03	1.0E-02	10225	8.4E-04	OK	
V - Mom	2.03	3.7E-04	5.8E-03	10108	8.0E-03	OK	
W - Mom	0.45	8.7E-05	1.3E-03	229	1.8E-02	OK	
P - Mass	1.08	2.4E-04	9.8E-03	1146	30.6	8.3E-02	OK
K-TurbKE	0.28	1.8E-03	2.6E-02	31	5.3	3.1E-03	OK
E-Diss.K	0.52	2.5E-02	6.2E-01	1151	5.3	3.5E-03	OK

=====

TIME STEP = 8      SIMULATION TIME = 1.32E+01      CPU SECONDS = 2.59E+02

Equation	Rate	RMS Res	Max Res	Location	Linear Solution		
U - Mom	0.80	9.9E-04	1.4E-02	31	7.3E-04	OK	
V - Mom	1.78	6.7E-04	7.9E-03	9696	3.9E-03	OK	
W - Mom	0.67	5.8E-05	9.1E-04	17877	1.6E-02	OK	
P - Mass	1.26	3.0E-04	1.2E-02	1146	30.6	6.3E-02	OK
K-TurbKE	18.22	3.3E-02	2.3E-01	18736	5.3	8.0E-03	OK
E-Diss.K	0.42	1.1E-02	2.1E-01	1151	5.4	9.5E-04	OK

=====

TIME STEP = 9      SIMULATION TIME = 1.49E+01      CPU SECONDS = 3.04E+02

Equation	Rate	RMS Res	Max Res	Location	Linear Solution		
U - Mom	1.10	1.1E-03	2.2E-02	31	8.5E-04	OK	
V - Mom	1.31	8.7E-04	1.3E-02	9696	3.5E-03	OK	
W - Mom	1.03	6.0E-05	1.2E-03	1212	2.6E-02	OK	
P - Mass	1.50	4.5E-04	1.4E-02	1146	25.7	6.6E-02	OK
K-TurbKE	0.74	2.5E-02	2.4E-01	1149	5.4	3.3E-03	OK
E-Diss.K	1.88	2.0E-02	3.6E-01	1151	5.4	4.0E-04	OK

=====

TIME STEP = 10      SIMULATION TIME = 1.65E+01      CPU SECONDS = 3.47E+02

Equation	Rate	RMS Res	Max Res	Location	Linear Solution		
U - Mom	1.01	1.1E-03	2.4E-02	31	1.0E-03	OK	
V - Mom	1.02	8.8E-04	1.3E-02	9696	3.9E-03	OK	
W - Mom	1.04	6.2E-05	1.2E-03	4	4.3E-02	OK	
P - Mass	0.96	4.3E-04	1.2E-02	1146	20.7	7.3E-02	OK
K-TurbKE	0.65	1.6E-02	2.0E-01	4	5.4	2.1E-03	OK
E-Diss.K	0.91	1.9E-02	4.3E-01	1151	5.4	2.9E-04	OK

=====



TIME STEP = 11      SIMULATION TIME = 1.82E+01      CPU SECONDS = 3.88E+02

Equation	Rate	RMS Res	Max Res	Location	Linear Solution		
U - Mom	0.97	1.1E-03	2.5E-02	31	1.4E-03	OK	
V - Mom	0.95	8.4E-04	1.3E-02	9696	5.3E-03	OK	
W - Mom	1.03	6.4E-05	1.6E-03	4	7.5E-02	OK	
P - Mass	0.84	3.6E-04	9.8E-03	1146	15.8	9.7E-02	OK
K-TurbKE	0.71	1.1E-02	1.6E-01	4	5.4	1.8E-03	OK
E-Diss.K	0.83	1.5E-02	3.9E-01	1151	5.4	2.2E-04	OK

TIME STEP = 12      SIMULATION TIME = 1.98E+01      CPU SECONDS = 4.27E+02

Equation	Rate	RMS Res	Max Res	Location	Linear Solution		
U - Mom	0.96	1.0E-03	2.4E-02	31	1.2E-03	OK	
V - Mom	0.93	7.8E-04	1.2E-02	9696	4.3E-03	OK	
W - Mom	1.01	6.5E-05	1.7E-03	4	7.3E-02	OK	
P - Mass	0.79	2.9E-04	7.7E-03	1146	15.8	8.4E-02	OK
K-TurbKE	0.76	8.8E-03	1.2E-01	4	5.4	1.6E-03	OK
E-Diss.K	0.84	1.3E-02	3.5E-01	1151	5.4	1.7E-04	OK

TIME STEP = 13      SIMULATION TIME = 2.15E+01      CPU SECONDS = 4.66E+02

Equation	Rate	RMS Res	Max Res	Location	Linear Solution		
U - Mom	0.95	9.6E-04	2.4E-02	4	8.4E-04	OK	
V - Mom	0.92	7.2E-04	1.1E-02	9696	3.1E-03	OK	
W - Mom	0.99	6.4E-05	1.8E-03	4	5.8E-02	OK	
P - Mass	0.78	2.2E-04	6.0E-03	1146	15.8	6.5E-02	OK
K-TurbKE	0.83	7.3E-03	9.4E-02	4	5.4	1.6E-03	OK
E-Diss.K	0.86	1.1E-02	3.2E-01	1151	5.4	1.7E-04	OK

TIME STEP = 14      SIMULATION TIME = 2.31E+01      CPU SECONDS = 5.05E+02

Equation	Rate	RMS Res	Max Res	Location	Linear Solution		
U - Mom	0.95	9.2E-04	2.4E-02	29	6.3E-04	OK	
V - Mom	0.91	6.6E-04	1.0E-02	9696	2.5E-03	OK	
W - Mom	0.97	6.2E-05	1.7E-03	4	4.9E-02	OK	
P - Mass	0.77	1.7E-04	4.7E-03	1146	15.8	5.4E-02	OK
K-TurbKE	0.89	6.5E-03	7.7E-02	31	5.4	1.6E-03	OK
E-Diss.K	0.90	1.0E-02	2.9E-01	1151	5.4	1.7E-04	OK

TIME STEP = 15      SIMULATION TIME = 2.48E+01      CPU SECONDS = 5.43E+02

Equation	Rate	RMS Res	Max Res	Location	Linear Solution		
U - Mom	0.95	8.7E-04	2.6E-02	29	5.1E-04	OK	



V - Mom	0.90	5.9E-04	9.3E-03	1212	2.0E-03	OK
W - Mom	0.96	6.0E-05	1.6E-03	1238	4.8E-02	OK
P - Mass	0.77	1.3E-04	3.6E-03	31	15.8	5.1E-02 OK
K-TurbKE	0.93	6.0E-03	7.0E-02	1985	5.4	1.7E-03 OK
E-Diss.K	0.92	9.3E-03	2.7E-01	1151	5.4	1.8E-04 OK

=====

TIME STEP = 16      SIMULATION TIME = 2.64E+01      CPU SECONDS = 5.81E+02

Equation	Rate	RMS Res	Max Res	Location	Linear Solution	
U - Mom	0.95	8.2E-04	2.8E-02	29	4.3E-04	OK
V - Mom	0.89	5.3E-04	1.0E-02	1212	1.8E-03	OK
W - Mom	0.96	5.7E-05	1.7E-03	10215	4.9E-02	OK
P - Mass	0.77	1.0E-04	2.8E-03	31	15.8	5.1E-02 OK
K-TurbKE	0.95	5.7E-03	6.8E-02	1985	5.4	1.8E-03 OK
E-Diss.K	0.95	8.8E-03	2.5E-01	1151	5.4	2.0E-04 OK

=====

TIME STEP = 17      SIMULATION TIME = 2.81E+01      CPU SECONDS = 6.23E+02

Equation	Rate	RMS Res	Max Res	Location	Linear Solution	
U - Mom	0.95	7.8E-04	3.0E-02	29	3.7E-04	OK
V - Mom	0.89	4.7E-04	1.1E-02	1212	1.6E-03	OK
W - Mom	0.95	5.5E-05	1.8E-03	10215	5.0E-02	OK
P - Mass	0.76	7.7E-05	2.2E-03	31	15.8	5.1E-02 OK
K-TurbKE	0.95	5.5E-03	6.5E-02	1985	5.4	2.2E-03 OK
E-Diss.K	0.96	8.4E-03	2.4E-01	1151	5.4	2.2E-04 OK

=====

TIME STEP = 18      SIMULATION TIME = 2.97E+01      CPU SECONDS = 6.61E+02

Equation	Rate	RMS Res	Max Res	Location	Linear Solution	
U - Mom	0.94	7.4E-04	3.2E-02	29	3.2E-04	OK
V - Mom	0.89	4.2E-04	1.1E-02	1212	1.4E-03	OK
W - Mom	0.96	5.2E-05	2.1E-03	29	5.3E-02	OK
P - Mass	0.77	5.9E-05	1.7E-03	31	15.8	5.3E-02 OK
K-TurbKE	0.96	5.2E-03	6.4E-02	18348	5.4	2.9E-03 OK
E-Diss.K	0.97	8.1E-03	2.3E-01	1151	5.4	2.4E-04 OK

=====

TIME STEP = 19      SIMULATION TIME = 3.14E+01      CPU SECONDS = 6.99E+02

Equation	Rate	RMS Res	Max Res	Location	Linear Solution	
U - Mom	0.94	6.9E-04	3.3E-02	29	2.8E-04	OK
V - Mom	0.90	3.8E-04	1.3E-02	1207	1.3E-03	OK
W - Mom	0.96	5.0E-05	2.5E-03	2	5.9E-02	OK
P - Mass	0.77	4.5E-05	1.3E-03	31	15.8	5.8E-02 OK
K-TurbKE	0.96	5.0E-03	6.6E-02	31	5.4	4.3E-03 OK



E-Diss.K	0.97	7.9E-03	2.3E-01	1151	5.4	2.9E-04	OK
----------	------	---------	---------	------	-----	---------	----

=====							
TIME STEP = 20		SIMULATION TIME = 3.30E+01			CPU SECONDS = 7.38E+02		
Equation	Rate	RMS Res	Max Res	Location	Linear Solution		
U - Mom	0.93	6.5E-04	3.4E-02	29	2.6E-04 OK		
V - Mom	0.92	3.5E-04	1.4E-02	2	1.2E-03 OK		
W - Mom	0.97	4.9E-05	2.8E-03	2	6.5E-02 OK		
P - Mass	0.77	3.4E-05	9.9E-04	31	15.8	6.4E-02	OK
K-TurbKE	0.96	4.8E-03	7.1E-02	31	5.4	5.8E-03	OK
E-Diss.K	0.98	7.8E-03	2.2E-01	1151	5.4	3.7E-04	OK

=====							
TIME STEP = 21		SIMULATION TIME = 3.47E+01			CPU SECONDS = 7.76E+02		
Equation	Rate	RMS Res	Max Res	Location	Linear Solution		
U - Mom	0.91	5.9E-04	3.4E-02	29	2.4E-04 OK		
V - Mom	0.92	3.2E-04	1.5E-02	2	1.1E-03 OK		
W - Mom	0.96	4.7E-05	3.0E-03	2	7.3E-02 OK		
P - Mass	0.77	2.7E-05	7.6E-04	31	15.8	7.2E-02	OK
K-TurbKE	0.97	4.7E-03	7.6E-02	31	5.5	6.5E-03	OK
E-Diss.K	0.95	7.4E-03	2.1E-01	1151	5.4	4.9E-04	OK

=====							
TIME STEP = 22		SIMULATION TIME = 3.63E+01			CPU SECONDS = 8.15E+02		
Equation	Rate	RMS Res	Max Res	Location	Linear Solution		
U - Mom	0.88	5.2E-04	3.4E-02	29	2.3E-04 OK		
V - Mom	0.90	2.9E-04	1.6E-02	33	1.1E-03 OK		
W - Mom	0.94	4.4E-05	3.1E-03	29	8.1E-02 OK		
P - Mass	0.77	2.0E-05	5.9E-04	31	15.8	8.2E-02	OK
K-TurbKE	0.98	4.6E-03	8.1E-02	31	5.4	7.3E-03	OK
E-Diss.K	0.91	6.7E-03	2.0E-01	1151	5.5	6.0E-04	OK

=====							
TIME STEP = 23		SIMULATION TIME = 3.80E+01			CPU SECONDS = 8.54E+02		
Equation	Rate	RMS Res	Max Res	Location	Linear Solution		
U - Mom	0.86	4.4E-04	3.1E-02	29	2.1E-04 OK		
V - Mom	0.90	2.6E-04	1.4E-02	33	1.1E-03 OK		
W - Mom	0.91	4.0E-05	3.1E-03	29	8.7E-02 OK		
P - Mass	0.77	1.6E-05	4.6E-04	31	15.8	9.3E-02	OK
K-TurbKE	0.96	4.4E-03	8.4E-02	31	5.4	7.7E-03	OK
E-Diss.K	0.92	6.2E-03	1.8E-01	1151	5.5	6.8E-04	OK

=====



TIME STEP = 24      SIMULATION TIME = 3.96E+01      CPU SECONDS = 8.94E+02

Equation	Rate	RMS Res	Max Res	Location	Linear Solution		
U - Mom	0.84	3.7E-04	2.7E-02	29	7.0E-05	OK	
V - Mom	0.92	2.4E-04	1.4E-02	1210	3.5E-04	OK	
W - Mom	0.89	3.6E-05	3.0E-03	29	3.3E-02	OK	
P - Mass	0.77	1.2E-05	3.5E-04	31	20.8	3.7E-02	OK
K-TurbKE	0.91	4.0E-03	8.4E-02	2	5.5	8.0E-03	OK
E-Diss.K	0.81	5.0E-03	1.5E-01	1151	5.5	7.5E-04	OK

TIME STEP = 25      SIMULATION TIME = 4.13E+01      CPU SECONDS = 9.35E+02

Equation	Rate	RMS Res	Max Res	Location	Linear Solution		
U - Mom	0.83	3.1E-04	2.3E-02	29	6.7E-05	OK	
V - Mom	0.91	2.2E-04	1.5E-02	1210	3.4E-04	OK	
W - Mom	0.86	3.1E-05	2.8E-03	29	3.4E-02	OK	
P - Mass	0.77	9.4E-06	2.7E-04	31	20.8	4.2E-02	OK
K-TurbKE	0.91	3.6E-03	9.0E-02	33	5.5	8.2E-03	OK
E-Diss.K	0.80	4.0E-03	1.3E-01	33	5.4	7.6E-04	OK

TIME STEP = 26      SIMULATION TIME = 4.29E+01      CPU SECONDS = 9.76E+02

Equation	Rate	RMS Res	Max Res	Location	Linear Solution		
U - Mom	0.81	2.5E-04	1.9E-02	29	6.7E-05	OK	
V - Mom	0.90	2.0E-04	1.5E-02	1210	3.4E-04	OK	
W - Mom	0.83	2.5E-05	2.5E-03	29	3.5E-02	OK	
P - Mass	0.77	7.2E-06	2.1E-04	31	20.8	4.8E-02	OK
K-TurbKE	0.92	3.4E-03	9.8E-02	33	5.5	8.3E-03	OK
E-Diss.K	0.80	3.2E-03	1.1E-01	33	5.4	7.5E-04	OK

TIME STEP = 27      SIMULATION TIME = 4.46E+01      CPU SECONDS = 1.02E+03

Equation	Rate	RMS Res	Max Res	Location	Linear Solution		
U - Mom	0.81	2.0E-04	1.5E-02	29	6.7E-05	OK	
V - Mom	0.89	1.7E-04	1.4E-02	1210	3.4E-04	OK	
W - Mom	0.81	2.0E-05	2.1E-03	29	3.6E-02	OK	
P - Mass	0.77	5.6E-06	1.7E-04	9940	20.8	5.4E-02	OK
K-TurbKE	0.93	3.1E-03	1.0E-01	33	5.5	8.4E-03	OK
E-Diss.K	0.80	2.6E-03	9.9E-02	33	5.4	7.4E-04	OK

TIME STEP = 28      SIMULATION TIME = 4.62E+01      CPU SECONDS = 1.06E+03

Equation	Rate	RMS Res	Max Res	Location	Linear Solution		
U - Mom	0.81	1.6E-04	1.1E-02	29	6.6E-05	OK	



V - Mom	0.89	1.5E-04	1.2E-02	1210	3.4E-04	OK
W - Mom	0.81	1.7E-05	1.8E-03	29	3.5E-02	OK
P - Mass	0.77	4.3E-06	1.3E-04	9940	20.8 6.0E-02	OK
K-TurbKE	0.94	2.9E-03	1.0E-01	33	5.4 8.5E-03	OK
E-Diss.K	0.80	2.1E-03	8.4E-02	33	5.4 7.3E-04	OK

=====

TIME STEP = 29      SIMULATION TIME = 4.79E+01      CPU SECONDS = 1.10E+03

Equation	Rate	RMS Res	Max Res	Location	Linear Solution	
U - Mom	0.82	1.4E-04	8.5E-03	29	6.7E-05	OK
V - Mom	0.85	1.3E-04	1.1E-02	1124	3.4E-04	OK
W - Mom	0.80	1.3E-05	1.4E-03	29	3.5E-02	OK
P - Mass	0.77	3.3E-06	1.0E-04	9940	20.8 6.4E-02	OK
K-TurbKE	0.94	2.8E-03	1.0E-01	33	5.4 8.5E-03	OK
E-Diss.K	0.81	1.7E-03	7.0E-02	33	5.4 7.2E-04	OK

=====

TIME STEP = 30      SIMULATION TIME = 4.95E+01      CPU SECONDS = 1.14E+03

Equation	Rate	RMS Res	Max Res	Location	Linear Solution	
U - Mom	0.82	1.1E-04	6.1E-03	1126	6.6E-05	OK
V - Mom	0.84	1.1E-04	9.5E-03	1124	3.4E-04	OK
W - Mom	0.79	1.0E-05	1.1E-03	29	3.5E-02	OK
P - Mass	0.77	2.6E-06	7.8E-05	31	20.8 6.7E-02	OK
K-TurbKE	0.95	2.6E-03	9.6E-02	33	5.4 8.5E-03	OK
E-Diss.K	0.81	1.4E-03	5.8E-02	33	5.4 7.0E-04	OK

=====

TIME STEP = 31      SIMULATION TIME = 5.12E+01      CPU SECONDS = 1.18E+03

Equation	Rate	RMS Res	Max Res	Location	Linear Solution	
U - Mom	0.87	9.7E-05	4.9E-03	1126	6.6E-05	OK
V - Mom	0.84	9.3E-05	8.4E-03	1124	3.3E-04	OK
W - Mom	0.78	8.1E-06	8.4E-04	29	3.4E-02	OK
P - Mass	0.78	2.0E-06	6.1E-05	31	20.8 7.0E-02	OK
K-TurbKE	0.95	2.5E-03	9.5E-02	29	5.4 8.4E-03	OK
E-Diss.K	0.81	1.1E-03	5.0E-02	29	5.4 6.9E-04	OK

=====

TIME STEP = 32      SIMULATION TIME = 5.28E+01      CPU SECONDS = 1.22E+03

Equation	Rate	RMS Res	Max Res	Location	Linear Solution	
U - Mom	0.89	8.6E-05	3.5E-03	1126	6.5E-05	OK
V - Mom	0.83	7.7E-05	7.3E-03	1124	3.2E-04	OK
W - Mom	0.78	6.3E-06	6.4E-04	29	3.2E-02	OK
P - Mass	0.78	1.6E-06	4.8E-05	31	20.8 6.9E-02	OK
K-TurbKE	0.95	2.4E-03	1.0E-01	29	5.4 8.3E-03	OK



E-Diss.K	0.81	8.8E-04	4.4E-02	29	5.4	6.9E-04	OK
----------	------	---------	---------	----	-----	---------	----

=====

TIME STEP = 33      SIMULATION TIME = 5.45E+01      CPU SECONDS = 1.26E+03

Equation	Rate	RMS Res	Max Res	Location	Linear Solution		
U - Mom	0.90	7.8E-05	2.5E-03	29	6.4E-05	OK	
V - Mom	0.83	6.4E-05	6.4E-03	1124	3.2E-04	OK	
W - Mom	0.80	5.0E-06	5.0E-04	29	3.1E-02	OK	
P - Mass	0.79	1.3E-06	3.8E-05	31	20.8	6.8E-02	OK
K-TurbKE	0.95	2.2E-03	1.0E-01	29	5.4	8.1E-03	OK
E-Diss.K	0.81	7.2E-04	3.8E-02	29	5.5	7.0E-04	OK

=====

TIME STEP = 34      SIMULATION TIME = 5.61E+01      CPU SECONDS = 1.30E+03

Equation	Rate	RMS Res	Max Res	Location	Linear Solution		
U - Mom	0.92	7.1E-05	2.1E-03	29	6.2E-05	OK	
V - Mom	0.82	5.3E-05	5.3E-03	1124	3.0E-04	OK	
W - Mom	0.82	4.1E-06	4.2E-04	29	2.8E-02	OK	
P - Mass	0.80	1.0E-06	3.2E-05	1127	20.8	6.6E-02	OK
K-TurbKE	0.94	2.1E-03	1.0E-01	29	5.4	7.9E-03	OK
E-Diss.K	0.81	5.8E-04	3.3E-02	29	5.4	7.0E-04	OK

=====

TIME STEP = 35      SIMULATION TIME = 5.78E+01      CPU SECONDS = 1.34E+03

Equation	Rate	RMS Res	Max Res	Location	Linear Solution		
U - Mom	0.92	6.6E-05	2.0E-03	1124	6.0E-05	OK	
V - Mom	0.82	4.3E-05	4.4E-03	1124	2.9E-04	OK	
W - Mom	0.82	3.4E-06	3.4E-04	29	2.7E-02	OK	
P - Mass	0.81	8.1E-07	2.9E-05	9704	20.8	6.3E-02	OK
K-TurbKE	0.94	2.0E-03	1.0E-01	29	5.4	7.6E-03	OK
E-Diss.K	0.81	4.7E-04	2.8E-02	29	5.4	7.0E-04	OK

=====

TIME STEP = 36      SIMULATION TIME = 5.94E+01      CPU SECONDS = 1.38E+03

Equation	Rate	RMS Res	Max Res	Location	Linear Solution		
U - Mom	0.93	6.1E-05	1.9E-03	1124	5.9E-05	OK	
V - Mom	0.82	3.5E-05	3.5E-03	1124	2.9E-04	OK	
W - Mom	0.83	2.8E-06	2.9E-04	29	2.5E-02	OK	
P - Mass	0.82	6.7E-07	2.6E-05	9704	20.8	6.1E-02	OK
K-TurbKE	0.94	1.9E-03	1.0E-01	29	5.4	7.3E-03	OK
E-Diss.K	0.81	3.8E-04	2.5E-02	29	5.4	7.1E-04	OK





TIME STEP = 37      SIMULATION TIME = 6.11E+01      CPU SECONDS = 1.42E+03

Equation	Rate	RMS Res	Max Res	Location	Linear Solution	
U - Mom	0.93	5.7E-05	1.8E-03	1124	5.7E-05	OK
V - Mom	0.82	2.9E-05	2.8E-03	1124	2.7E-04	OK
W - Mom	0.83	2.3E-06	2.4E-04	29	2.3E-02	OK
P - Mass	0.83	5.6E-07	2.3E-05	9704	20.8 5.5E-02	OK
K-TurbKE	0.94	1.8E-03	1.0E-01	29	5.5 7.0E-03	OK
E-Diss.K	0.82	3.1E-04	2.1E-02	29	5.4 7.2E-04	OK

TIME STEP = 38      SIMULATION TIME = 6.27E+01      CPU SECONDS = 1.47E+03

Equation	Rate	RMS Res	Max Res	Location	Linear Solution	
U - Mom	0.93	5.2E-05	1.6E-03	1124	5.4E-05	OK
V - Mom	0.82	2.4E-05	2.2E-03	1124	2.5E-04	OK
W - Mom	0.83	1.9E-06	2.0E-04	29	2.0E-02	OK
P - Mass	0.84	4.7E-07	2.0E-05	9704	20.8 5.0E-02	OK
K-TurbKE	0.94	1.7E-03	1.0E-01	29	5.5 6.7E-03	OK
E-Diss.K	0.82	2.6E-04	1.8E-02	29	5.4 7.4E-04	OK

TIME STEP = 39      SIMULATION TIME = 6.44E+01      CPU SECONDS = 1.51E+03

Equation	Rate	RMS Res	Max Res	Location	Linear Solution	
U - Mom	0.93	4.9E-05	1.4E-03	1124	5.1E-05	OK
V - Mom	0.83	2.0E-05	1.8E-03	1124	2.4E-04	OK
W - Mom	0.85	1.6E-06	1.7E-04	29	1.8E-02	OK
P - Mass	0.85	4.0E-07	1.7E-05	9704	20.8 4.6E-02	OK
K-TurbKE	0.95	1.6E-03	9.9E-02	29	5.5 6.4E-03	OK
E-Diss.K	0.82	2.1E-04	1.6E-02	29	5.4 7.6E-04	OK

TIME STEP = 40      SIMULATION TIME = 6.60E+01      CPU SECONDS = 1.55E+03

Equation	Rate	RMS Res	Max Res	Location	Linear Solution	
U - Mom	0.93	4.5E-05	1.1E-03	1124	5.0E-05	OK
V - Mom	0.84	1.7E-05	1.4E-03	1124	2.4E-04	OK
W - Mom	0.84	1.4E-06	1.5E-04	29	1.7E-02	OK
P - Mass	0.86	3.4E-07	1.4E-05	9704	20.8 4.3E-02	OK
K-TurbKE	0.90	1.4E-03	9.3E-02	29	5.4 6.1E-03	OK
E-Diss.K	0.83	1.8E-04	1.4E-02	29	5.4 7.8E-04	OK

TIME STEP = 41      SIMULATION TIME = 6.77E+01      CPU SECONDS = 1.59E+03

Equation	Rate	RMS Res	Max Res	Location	Linear Solution	
U - Mom	0.92	4.2E-05	9.5E-04	1124	4.7E-05	OK

V - Mom	0.85	1.4E-05	1.1E-03	1124	2.1E-04	OK	
W - Mom	0.81	1.1E-06	1.1E-04	29	1.5E-02	OK	
P - Mass	0.86	2.9E-07	1.2E-05	9704	20.8	3.7E-02	OK
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+							
K-TurbKE	0.86	1.2E-03	8.3E-02	29	5.4	5.8E-03	OK
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+							
E-Diss.K	0.83	1.5E-04	1.2E-02	29	5.4	8.1E-04	OK
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+							

=====

TIME STEP = 42      SIMULATION TIME = 6.93E+01      CPU SECONDS = 1.63E+03

Equation	Rate	RMS Res	Max Res	Location	Linear Solution	
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+						
U - Mom	0.92	3.8E-05	7.8E-04	1124	1.3E-04	OK
V - Mom	0.86	1.2E-05	8.5E-04	1124	6.3E-04	OK
W - Mom	0.88	9.6E-07	9.8E-05	29	3.7E-02	OK
P - Mass	0.88	2.6E-07	1.0E-05	9704	15.8	9.6E-02
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+						
K-TurbKE	0.86	1.1E-03	7.4E-02	29	5.4	5.5E-03
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+						
E-Diss.K	0.84	1.2E-04	1.1E-02	29	5.4	8.4E-04
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+						

=====

TIME STEP = 43      SIMULATION TIME = 7.10E+01      CPU SECONDS = 1.67E+03

Equation	Rate	RMS Res	Max Res	Location	Linear Solution	
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+						
U - Mom	0.92	3.5E-05	6.4E-04	1124	1.3E-04	OK
V - Mom	0.87	1.1E-05	6.8E-04	1124	6.0E-04	OK
W - Mom	0.88	8.5E-07	8.7E-05	29	3.3E-02	OK
P - Mass	0.87	2.2E-07	8.3E-06	9704	15.8	8.6E-02
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+						
K-TurbKE	0.87	9.2E-04	6.6E-02	29	5.4	5.2E-03
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+						
E-Diss.K	0.84	1.0E-04	9.2E-03	29	5.4	8.7E-04
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+						

CFD Solver finished: Fri Oct 27 13:39:19 2000

Execution terminating:

all RMS residual AND global imbalance  
are below their target criteria.

+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+	
Boundary Mass Flow and Total Source Term Summary	
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+	
BODY	0.0000E+00
BOTTOM	0.0000E+00
IN1	1.2617E+06
IN2	0.0000E+00
OUT	-1.2617E+06
TOP	0.0000E+00
lleastld10Sl0.5/TET	0.0000E+00
-----	
Global Mass Balance:	3.3750E+00
Global Imbalance, in %:	0.0003 %



Boundary Momentum Flow and Total Source Term Summary			
	X-Comp.	Y-Comp.	Z-Comp.
BODY	-4.8040E+04	-2.2098E+03	2.1608E+00
BOTTOM	3.4314E-02	-7.3187E-03	5.8020E+09
IN1	2.7129E+07	-1.0078E-02	-8.9905E-02
IN2	-8.5875E+02	2.1255E+03	6.0976E-03
OUT	-2.7080E+07	2.0132E+03	-6.0364E+00
TOP	7.5787E-03	-1.5976E-05	-5.8020E+09
lleastld10S10.5/TET	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00
Global Momentum Balance:	2.8201E+02	1.9288E+03	-5.2736E+04
Global Imbalance, in %:	0.0000 %	0.0000 %	-0.0009 %

Normal Force On Walls			
	X-Comp.	Y-Comp.	Z-Comp.
BODY	4.7894E+04	2.2109E+03	-2.1704E+00
BOTTOM	-3.4314E-02	7.3187E-03	-5.8020E+09
TOP	-7.5787E-03	1.5976E-05	5.8020E+09

Tangential Force On Walls			
	X-Comp.	Y-Comp.	Z-Comp.
BODY	1.4751E+02	-2.6199E-02	1.1600E-02
BOTTOM	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00
TOP	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00

Normal Moment On Walls			
	X-Comp.	Y-Comp.	Z-Comp.
BODY	-1.1861E+03	2.3986E+04	-4.6187E+05
BOTTOM	-5.8011E+10	3.4983E+11	-2.2173E-01
TOP	5.8009E+10	-3.4984E+11	9.1455E-02

Tangential Moment On Walls			
	X-Comp.	Y-Comp.	Z-Comp.
BODY	1.0629E-01	7.3997E+01	-1.4733E+03
BOTTOM	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00
TOP	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00

Locations of maximum residuals					
Equation	Node #	X	Y	Z	
U - Mom	1124	2.000E+01	1.490E-07	5.714E-01	
V - Mom	1124	2.000E+01	1.490E-07	5.714E-01	
W - Mom	29	2.000E+01	1.490E-07	1.000E+00	
P - Mass	9704	1.992E+01	-1.777E-01	6.017E-01	
K-TurbKE	29	2.000E+01	1.490E-07	1.000E+00	
E-Diss.K	29	2.000E+01	1.490E-07	1.000E+00	

Peak Values of residuals			
Equation	Peak occur at loop #	Peak Residual	Final Residual
U - Mom	1	1.33691E+04	3.51611E-05
V - Mom	2	6.79458E-03	1.06656E-05
W - Mom	2	4.53711E-03	8.46595E-07
P - Mass	1	2.22306E-03	2.24714E-07
K-TurbKE	8	3.33215E-02	9.23449E-04
E-Diss.K	6	4.88239E-02	1.02238E-04

Average Scale Information	
---------------------------	--

Global Length Scale	:	3.856E+01
Density Scale	:	1.000E+03
Dynamic Viscosity Scale	:	1.752E-03
Advection Time Scale	:	5.914E+00
Reynolds Number	:	1.435E+08
Velocity Scale	:	6.521E+00
Prandtl Number	:	1.752E-03
Cp Scale	:	1.000E+00
Conductivity Scale	:	1.000E+00

y+ information (min, max, average)			
Face set name	min y+	max y+	ave y+
BODY	3.05E+01	1.77E+03	3.95E+02

CPU Requirements of Numerical Solution	
--	--

Equation Type	Discretization (secs. %total)		Linear Solution (secs. %total)	
Momentum-Mass	8.13E+02	47.9 %	4.82E+02	28.4 %
Scalars	2.65E+02	15.6 %	1.37E+02	8.1 %

Job Information	
-----------------	--

Host computer: WORK1  
Job finished: Fri Oct 27 13:39:26 2000  
Total CPU time: 1.710E+03 seconds  
or: ( 0: 0: 28: 30.266 )  
( Days: Hours: Minutes: Seconds )

This run of the CFX-5 Solver has finished.





DEPARTEMEN PENDIDIKAN NASIONAL  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN  
**JURUSAN TEKNIK PERKAPALAN**

Kampus ITS -Sukolilo, Surabaya 60111 Telp. 5047254, 5004251-5 Pcs. 1173 - 1176 Fax 5047254

**SURAT KEPUTUSAN TUGAS AKHIR**

**No. 1 36a / K03.4.2/PP/2000**

Nama Mahasiswa : Eko Priyanto  
Nomor Pokok : 4195100015  
Tanggal diberi tugas : 01 Februari 2000  
Tanggal selesai tugas : 31 Juli 2000  
Dosen Pembimbing : 1. Ir. IK. Arya Pria Utama, MSc, Ph.D  
2. Ir. Petrus Adrianto Dewanda, MSc

Uraian / judul tugas akhir yang diberikan :

*ANALISA TAHANAN KAPAL TYPE KATAMARAN DENGAN KONSEP CFD. #*

**Surabaya, 28 Februari 2000**

**Jurusan Teknik Perkapalan**



Tembusan :





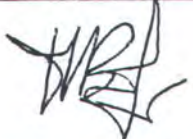

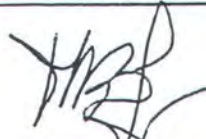
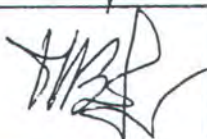
1. Yth. Dekan FTK-FIS
  2. Yth. Dosen Pembimbing
  3. Arsip
- HAUHAN MANFAAT, MSc, Ph.D.**  
No. 131 651 444.



**FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN ITS**  
**JURUSAN TEKNIK PERKAPALAN**

**DAFTAR KEMAJUAN TUGAS AKHIR (NA 1701)**

a mahasiswa : EKO PRIYANTO  
P. : 4195 100 015  
s diberikan : Semester Genap 1999 / 19-2000  
gal mulai tugas : 1 FEBRUARI 1999  
gal selesai tugas :  
n Pembimbing : 1. Ir. I. K. A. PRIA UTAMA, MSc, PhD  
2. Ir. P. ADRIANTO DEWANEGA, MASC

tanggal	Uraian Kemajuan Tugas	Tanda Tangan
3-2000	Pengelasan Umum tentang CFD	
3-2000	Uraian lebih lanjut tentang CFD	
3-2000	Penggunaan software CFX	
4-2000	Pen definisian model	
..-2000	Pemeraturan kondisi batas	
4-2000	Pemeraturan jumlah surface pada model	
-2000	Pendeskripsian model ke software CFX	
-2000	Asistensi pendeskripsian model	



Tanggal	Uraian Kemajuan Tugas	Tanda T
11-5-2000	Asistensi pendeskripsian model	
22-5-2000	Asistensi pendeskripsian model	
29-5-2000	Pemberian sign + sign fluida	
19-6-2000	Proses running program	
1-9-2000	Asistensi proses running program	
23-10-2000	Asistensi hasil running program	
13-11-2000	Asistensi Analisa hasil program	
21-11-2000	Revisi Analisa hasil	
12-12-2000	Penulisan Bab I, II, III	
5-1-2001	Revisi penulisan Bab I, II, III, IV	
17-1-2001	Asistensi penulisan laporan	

**Catatan :**

1. Formulir ini harus dibawa pada saat konsultasi
2. Konsultasi dilaksanakan minimal seminggu sekali.
3. Formulir ini harus dikumpulkan kembali pada saat mengumpulkan laporan tugas akhir.

Surabaya, 18 JANUARI 2001  
Dosen Pembimbing

I. K. A. P. UTAMA  
NIP. 132 007 645